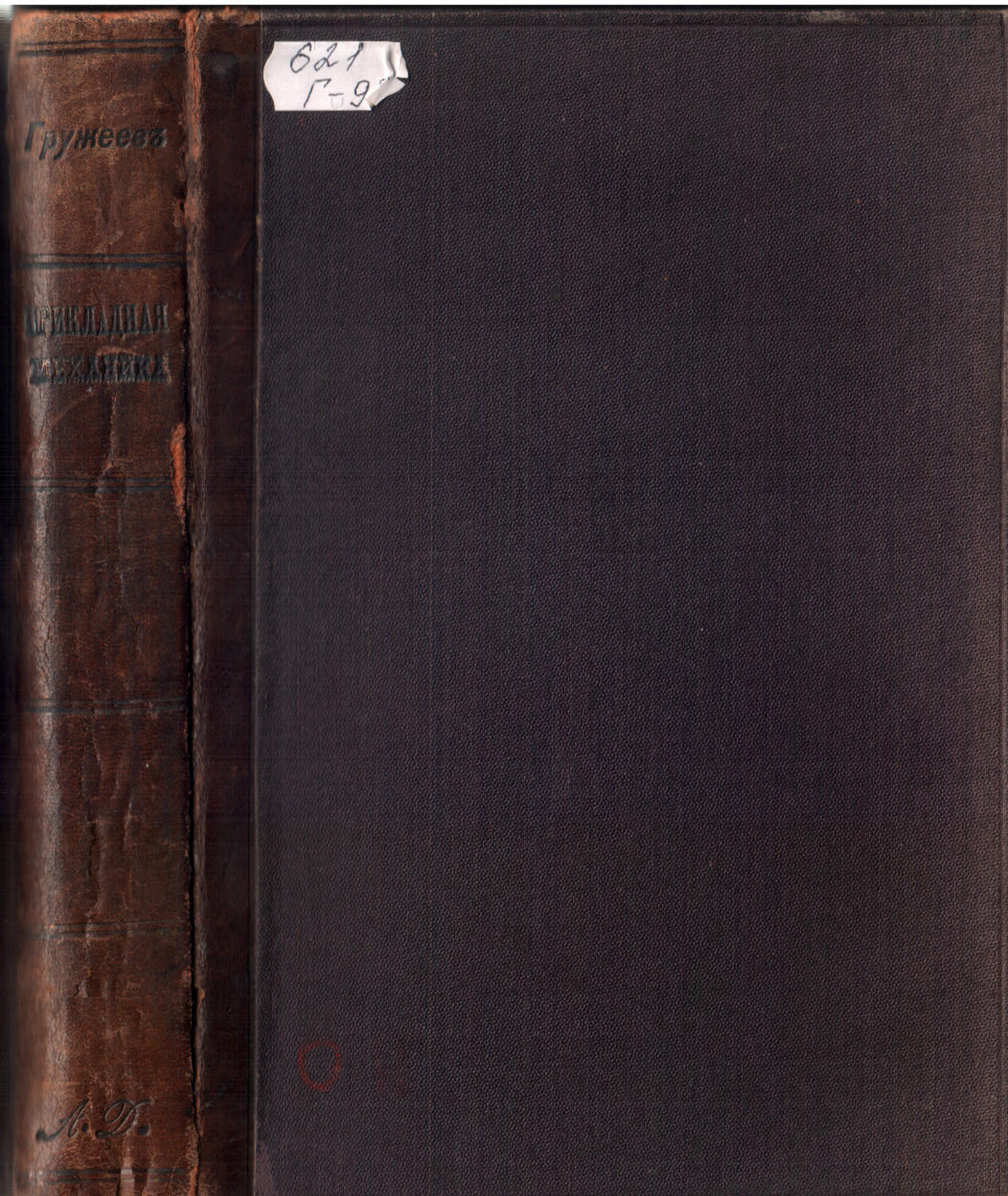
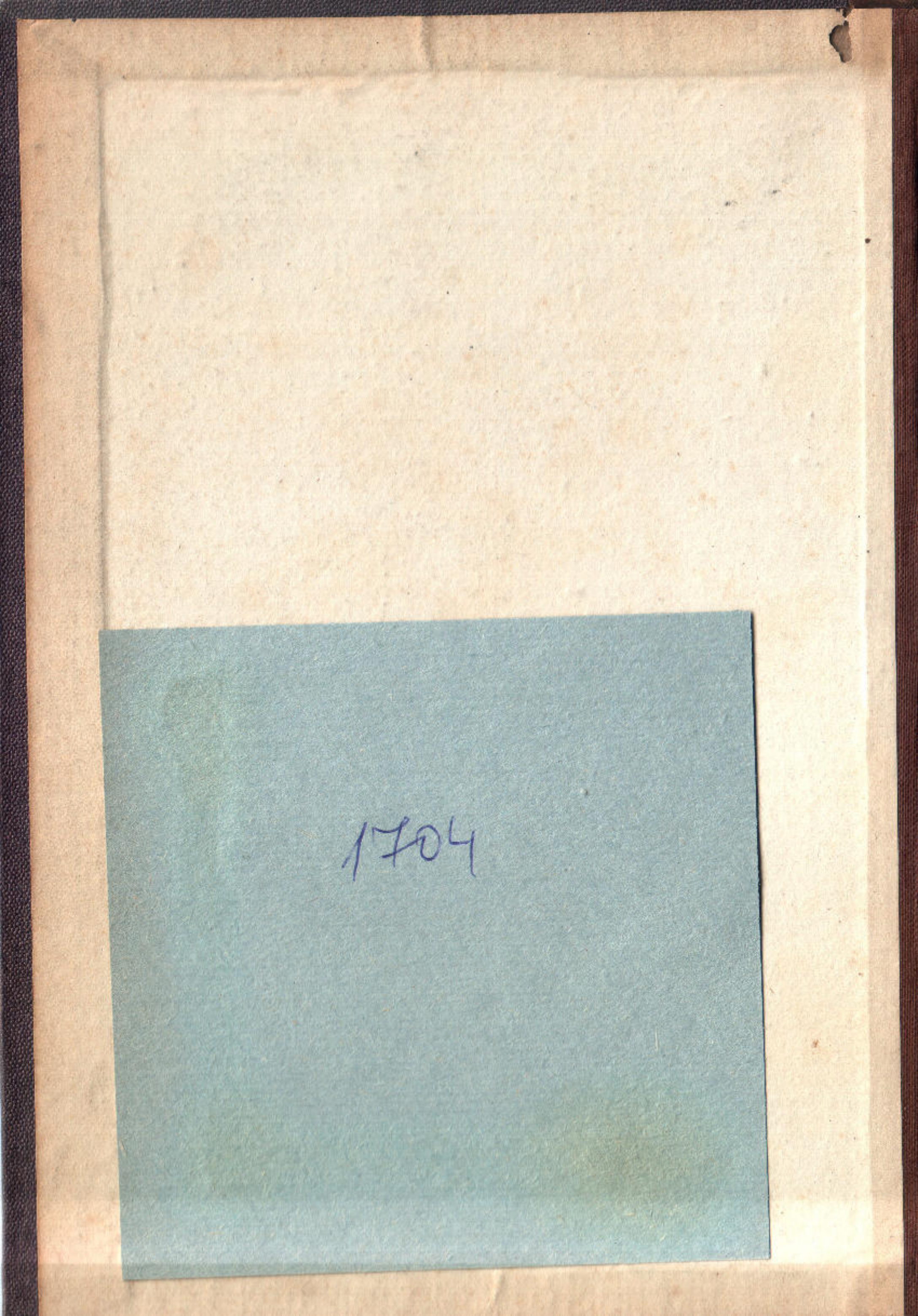
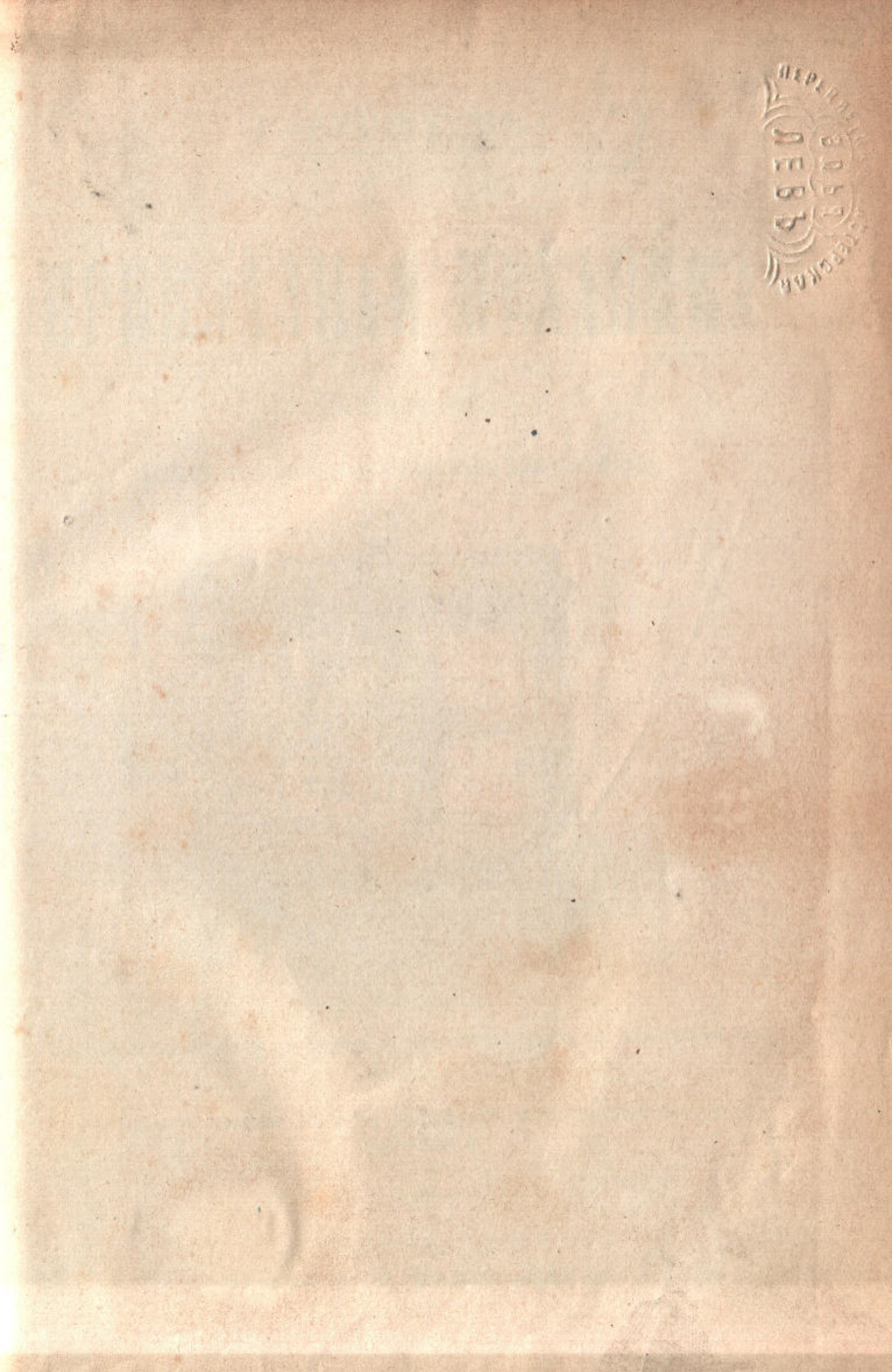
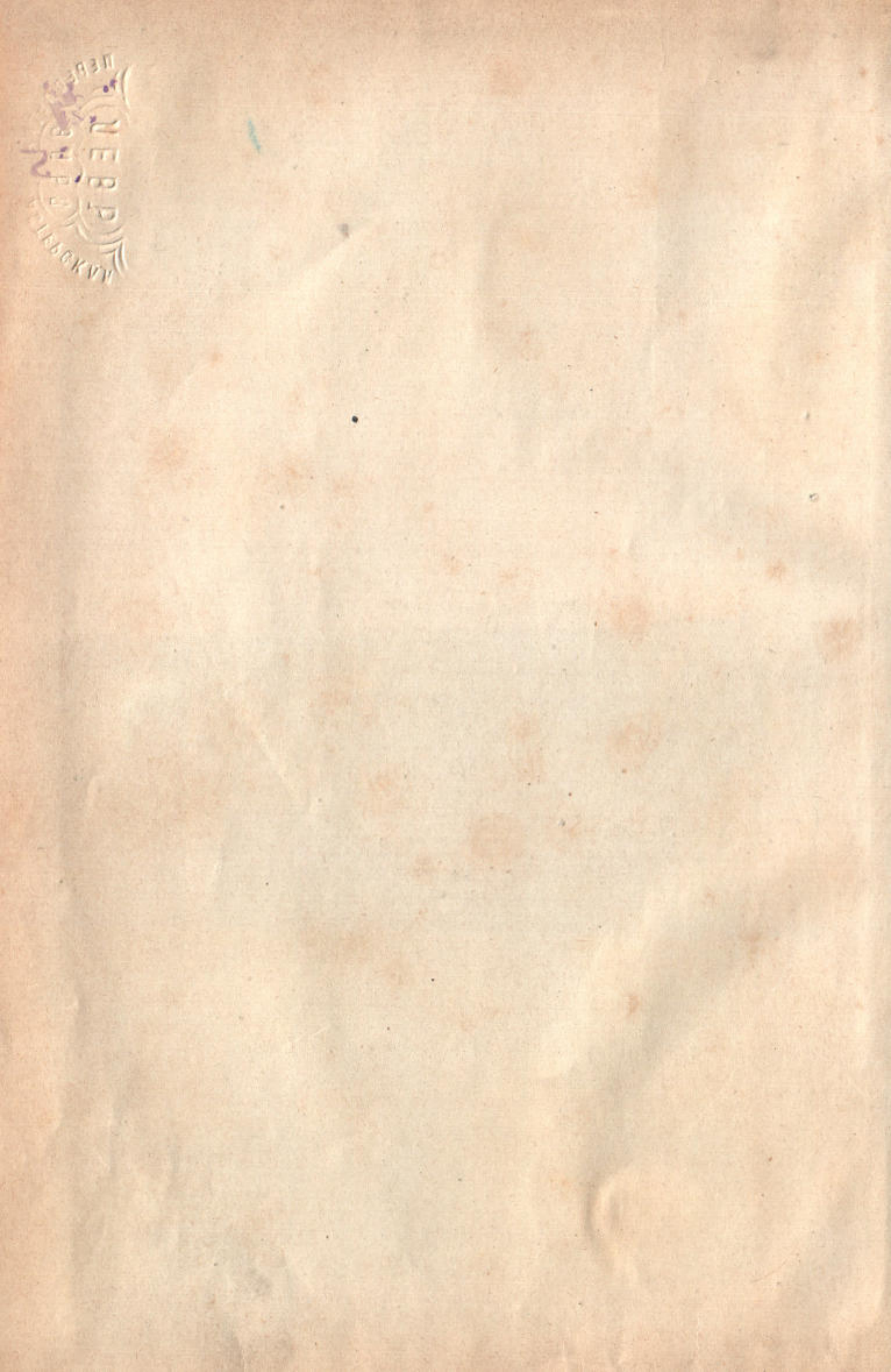

Гружеевъ
Прикладная механика
Л. Д.


1704



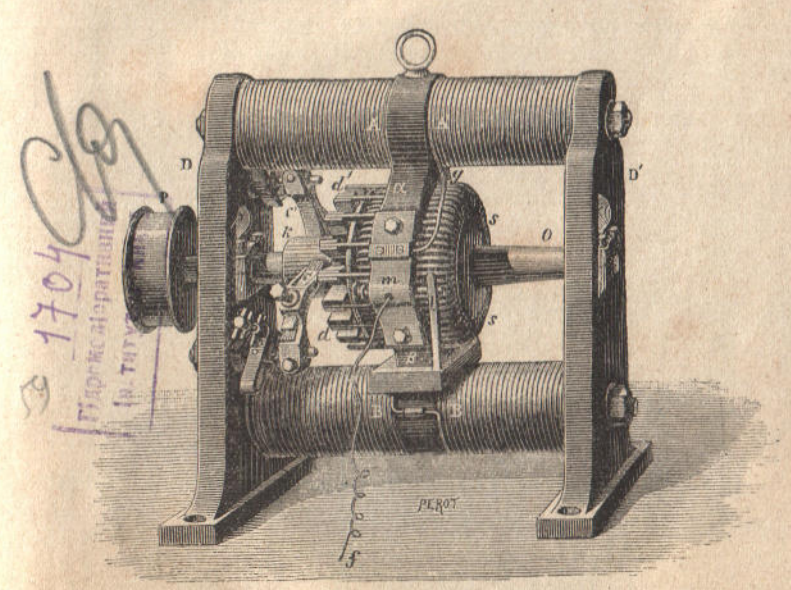


С. ГУРЖЕЕВЪ.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА

2-е ИЗДАНІЕ,

ПЕРЕСМОТРѢННОЕ И ЗНАЧИТЕЛЬНО ДОПОЛНЕННОЕ.



Съ 349 политипажами въ текстѣ и собраніемъ задачъ съ ихъ рѣшеніями.

1-е изданіе одобрено ученымъ комитетомъ министерства народнаго просвѣщенія.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе Л. Ф. Пантелѣева.
1888.

Типографія и Литографія В. А. Тиханова, Большая Садовая, № 27.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

I. Передаточные механизмы.

II. Машины-двигатели.

III. Рабочія машины.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Настоящая книга заключаетъ въ себѣ *курсъ практической механики* въ элементарномъ, научномъ изложеніи.

Въ основаніе курса положенъ *принципъ сохраненія энергіи,* который даетъ возможность установить тѣсную связь между различными отдѣлами курса и тѣмъ въ значительной степени облегчить изученіе предмета.

Въ первомъ отдѣлѣ курса изложены *элементы прикладной кинематики.* Послѣдняя, имѣя предметомъ изученіе соотношеній между движеніями частей машины, съ кинематической точки зрѣнія, заключаетъ въ себѣ богатый общеобразовательный матеріалъ. Поэтому я не ограничился голымъ описаніемъ тѣхъ или другихъ механизмовъ, но счелъ необходимымъ изложить *основные принципы теоріи механизмовъ*—общіе принципы передачи и преобразованія движеній.

Отдѣлъ *машинъ-двигателей* заключаетъ въ себѣ *главнѣйшіе типы современныхъ моторовъ,* которые разсматриваются какъ со стороны ихъ дѣйствія, такъ и со стороны наивыгоднѣйшаго устройства. Каждому роду моторовъ предпослано изложеніе важнѣйшихъ свойствъ двигателя, изученіе которыхъ необходимо для полнаго уясненія устройства и дѣйствія самого мотора.

Въ послѣднемъ отдѣлѣ—*рабочія машины*—разсмотрѣны, какъ примѣры пользованія работою двигателей, водоподъемныя и мукомольныя машины, имѣющія наиболѣе общій интересъ. Въ концѣ каждой главы помѣщены разнообразныя задачи, а въ концѣ книги—отвѣты и подробныя рѣшенія.

Программа и система изложенія въ настоящемъ, **второмъ,** изданіи тѣ же, какъ и въ первомъ, но всѣ безъ исключенія статьи подверглись существенной переработкѣ, предпринятой съ цѣлью придать книгѣ *большій практическій интересъ, возможную полноту* и *поставить ее на уровень современныхъ успѣховъ машиностроенія.* Не входя въ подробный перечень всѣхъ измѣненій и дополненій, сдѣланныхъ въ каждомъ изъ трехъ отдѣловъ курса, которыя легко можно видѣть изъ подробныхъ оглавленій, помѣщенныхъ передъ каждой статьей, укажемъ на важнѣйшія изъ нихъ. Всѣ устарѣвшія конструкціи замѣнены во всѣхъ отдѣлахъ новыми, наиболѣе распространенными въ практикѣ. Отдѣлъ «*передаточные механизмы*» дополненъ двумя новыми статьями: *о дифференціальномъ движеніи и эпициклическихъ зацѣпленіяхъ*, находящихъ себѣ все большее и большее примѣненіе въ станкахъ для обработки металловъ и дерева. Статья *о тюрбинахъ,* въ которой главное мѣсто отведено *активнымъ тюрбинамъ*, получившимъ въ послѣднее время первенствующее значеніе въ техникѣ, выдѣлена въ особую главу. Въ отдѣлѣ *паровыхъ машинъ* обращено особое вниманіе на клапанные распредѣлительные механизмы *Зульцера* и *Кольмана,* а также на *компаундъ-машины,* при чемъ всѣ эти статьи снабжены подробными чертежами новѣйшихъ образцовъ. Статья о *паровозахъ* въ новомъ изданіи обнимаетъ собою не только общее, но и детальное устройство частей паровоза, а также управленіе и уходъ за нимъ. Наконецъ, въ этомъ же отдѣлѣ помѣщена вновь статья о *динамомашинахъ*, которыя въ послѣднее время находятъ себѣ многоразличныя примѣненія на фабрикахъ и заводахъ для электрической передачи работы на разстоянія. Въ концѣ каждой статьи о моторахъ помѣщены необходимыя свѣдѣнія **объ** *управленіи и уходѣ* за ними, какъ весьма полезныя дополненія практической части курса.

ВВЕДЕНІЕ.

Предметъ прикладной механики. — Назначеніе и польза машинъ. — Естественныя энергіи, служащія двигателями, и ихъ источникъ. — Главнѣйшіе органы машинъ.—Уравненіе передачи работы машиною.—Условія наивыгоднѣйшей передачи работы двигателя. — Причины неравномѣрности движенія машинъ.—Уравнители движенія.—Невозможность построенія вѣчнаго двигателя (perpetuum mobile).

1. Предметъ прикладной механики. Предметъ *прикладной* или *практической механики* составляетъ *ученіе о машинахъ*. Она раздѣляется на 3 отдѣла:

1) *Прикладную кинематику* или *геометрическую теорію механизмовъ*, въ которой разсматриваются слѣдующіе вопросы:

a) какую форму и какое расположеніе должно дать частямъ машинъ, чтобы получить требуемое движеніе? и обратно:

b) даны форма и соединеніе частей машины, опредѣлить движеніе ея, т. е. опредѣлить отношеніе между скоростями различныхъ точекъ машины [1]).

[1]) Всякая машина, имѣя назначеніе совершать всегда опредѣленную работу, должна имѣть одно опредѣленное же движеніе. Поэтому части ея должны быть соединены между собою такимъ образомъ, чтобы связи эти, допуская требуемое движеніе, дѣлали бы невозможнымъ всякое другое. Съ этой точки зрѣнія всякая машина должна удовлетворять слѣдующимъ двумъ условіямъ: 1) каждая ея точка можетъ двигаться только по одной опредѣленной траэкторіи, 2) движеніе одной точки опредѣляетъ движеніе остальныхъ, такъ что положеніе, занимаемое послѣдними въ каждый данный моментъ вполнѣ опредѣляется положеніемъ первой точки. Условія эти выражаютъ, говоря, что части машинъ *вполнѣ взаимно связаны*, или, что машина есть *система съ полными связями*. Понятно, что хотя скорость движенія частей машины находится въ зависимости отъ дѣйствующихъ силъ и необходимо мѣняется съ измѣненіемъ этихъ силъ, но *отношенія между скоростями различныхъ частей машины отъ нихъ не зависятъ*: они суть функціи только геометрическихъ свойствъ связей, существующихъ между частями. Поэтому возможно изучать движеніе механизмовъ независимо отъ силъ, производящихъ это движеніе, опредѣляя не абсолютныя скорости частей машины, а лишь отношенія между этими скоростями.

Прикладная кинематика, рѣшая эти вопросы независимо отъ силъ, сообщающихъ движенiе частямъ машины, т. е. чисто кинематически, составляетъ вступленiе въ науку о машинахъ вообще, подобно тому какъ теоретическая кинематика служитъ введенiемъ въ науку о движенiи.

2) *Прикладную динамику* или *динамическую теорiю машинъ*, изучающую движенiе машины, при данной формѣ и расположенiи ея частей, въ зависимости отъ данныхъ силъ (двигателя и сопротивленiй), а также изслѣдующую способы наивыгоднѣйшаго примѣненiя движущихъ силъ.

3) *Теорiю построенiя машинъ*, имѣющую цѣлью опредѣленiе усилiй, которымъ подвержены различныя части машинъ во время ея движенiя, и размѣровъ, какiе должно придать каждой части для прочнаго сопротивленiя этимъ силамъ. Такъ какъ слишкомъ значительные размѣры увеличиваютъ безъ пользы объемъ, вѣсъ и стоимость машины, то главная задача теорiи построенiя машинъ состоитъ въ опредѣленiи *наименьшихъ размѣровъ*, при которыхъ части машинъ въ состоянiи выдержать наибольшiя усилiя, какимъ онѣ должны подвергаться во время движенiя машины, не претерпѣвая значительныхъ измѣненiй въ формѣ. Основанiемъ теорiи построенiя машинъ служитъ *ученiе о сопротивленiи матерiаловъ*.

Въ настоящемъ курсѣ будутъ изложены основные принципы первыхъ двухъ отдѣловъ практической механики и изъ третьяго отдѣла — способы опредѣленiя усилiй, которымъ подвержены различныя части машинъ во время движенiя.

2. Назначенiе и польза машинъ. Цѣль устройства машинъ весьма разнообразна, но въ окончательномъ результатѣ сводится на сообщенiе извѣстнаго рода движенiя или цѣлымъ тѣламъ (*водяныя колеса*, *локомотивы*, *пароходныя машины*, *подъемныя машины*, *прядильные станки*...), или же только нѣкоторымъ ихъ частицамъ (*мельничные жернова*, *лѣсопильныя машины*, *кузнечные молота*, *строгальные* и *токарные станки*...). Для возможности выполненiя своего назначенiя, машина должна быть подвержена дѣйствiю *движущей силы* или *двигателя*, работа котораго, передаваясь отъ одного органа машины къ другому и до послѣдняго, исполняющаго ту механическую операцiю, для которой машина назначена, расходуется на преодолѣнiе всѣхъ *сопротивленiй*, полезныхъ и вредныхъ, встрѣчающихся въ машинѣ.

Такимъ образомъ, *подъ именемъ машинъ надо разумѣть совокупность тѣлъ, соединенныхъ между собою опредѣленнымъ образомъ и служащихъ для передачи работы двигателя тѣламъ, подверженнымъ обработкѣ или передвиженiю.*

Хотя при употребленiи машинъ часть работы двигателя, иногда весьма значительная, затрачивается безполезно на преодолѣнiе вредныхъ сопротивленiй, тѣмъ не менѣе машины имѣютъ огромное

значеніе въ промышленности, ибо въ большинствѣ случаевъ непосредственное примѣненіе двигателя для произведенія надлежащей мех. операціи оказывается или неудобнымъ или невозможнымъ. Съ другой стороны, машины, передавая работу двигателя, даютъ возможность *преобразовывать* эту работу, т. е. измѣнять по произволу одинъ изъ двухъ множителей работы: силу и путь или скорость, какъ по величинѣ, такъ и по направленію.

Чтобы выяснить сущность преобразованія работы машиною, разсмотримъ простой примѣръ. Положимъ, что рабочій пользуется машиною для поднятія груговъ и производитъ полезную работу въ 6 к. м. въ сек. При помощи машины рабочій можетъ поднять 6000 klg. на высоту 0,001 м., или 60 к. на 0,1 м., или 0,06 к. на 100 м. и т. д. Такимъ образомъ, при помощи машины рабочій можетъ сообщать перемѣщенія, хотя и очень медленныя, такимъ грузамъ, какихъ онъ не могъ бы сдвинуть съ мѣста, дѣйствуя на нихъ непосредственно, или же сообщать небольшимъ грузамъ такія значительныя скорости, какихъ безъ помощи машины онъ не былъ бы въ состояніи имъ сообщить. Это преобразованіе работы позволяетъ человѣку производить *больше, скорѣе* и *дешевле*, нежели то возможно безъ помощи машинъ.

3. Двигатели и ихъ источникъ. Къ двигателямъ, которыми наиболѣе пользуются въ промышленности, принадлежатъ: *мускульная сила людей и животныхъ* (живые двигатели), *живая сила вѣтра*, *тяжесть*, *упругость пружинъ*, *живая сила текущей или падающей воды*, *упругость водяныхъ паровъ*, *нагрѣтаго или сжатаго воздуха и другихъ газовъ*, *электричество*.

Всѣ эти двигатели имѣютъ общимъ источникомъ *лучистую энергію солнца* и представляютъ лишь ея различныя формы. Чтобы убѣдиться въ этомъ, разсмотримъ естественныя энергіи, служащія двигателями.

Къ *потенціальнымъ энергіямъ*, доставляемымъ природою, принадлежатъ:

1) *Энергія топлива*, проявляющаяся въ *термическихъ* машинахъ въ видѣ *упругости* водяныхъ паровъ, нагрѣтаго воздуха...

Сжигая топливо, т. е. заставляя его соединяться съ кислородомъ воздуха, мы можемъ развить большое количество теплоты, которая превращаясь въ свою очередь въ энергію молекулярнаго раздѣленія, при нагрѣваніи воды, воздуха..., можетъ служить источникомъ механической силы—упругости паровъ, воздуха—приводящей въ движеніе термическія машины. Топливомъ въ промышленности служатъ: дерево, солома, торфъ, лигнитъ, каменный уголь въ различныхъ его видахъ, нефть а также горючіе газы, получаемые при сухой перегонкѣ твердыхъ топливъ. Такъ какъ каменный уголь представляетъ не что иное, какъ остатокъ древнихъ растительныхъ организмовъ, то мы можемъ сказать, что источникомъ энергіи топлива служитъ лучистая энергія солнца.

2) *Энергія пищи*, проявляющаяся въ животныхъ организмахъ въ видѣ *мускульной силы*.

Энергія пищи аналогична энергіи топлива. Принятіемъ пищи въ организмъ вводятся углеродъ и водородъ, главныя окисляющіяся составныя части ея, которыя сгораютъ въ организмѣ на счетъ кислорода вдыхаемаго воздуха, превращаясь въ угольную кислоту и въ пары воды. При этомъ химическая энергія пищи преобразуется въ тепловую энергію *(животная теплота)* и въ энергію видимаго движенія (мышечныя сокращенія). Такимъ образомъ, животный организмъ представляетъ въ нѣкоторомъ родѣ термическую машину: какъ тотъ, такъ и другая требуютъ питанія и въ обоихъ происходитъ превращеніе химической энергіи, заключающейся въ пищѣ и топливѣ, въ энергію теплоты и видимаго движенія. Пища можетъ быть растительнаго и животнаго происхожденія. Такъ какъ последняя представляетъ растительную пищу, которая прошла раньше черезъ организмъ животнаго, то ясно, что источникомъ энергіи пищи, какъ и энергіи топлива, служитъ лучистая энергія солнца.

Къ *кинетическимъ энергіямъ* доставляемымъ природою, относятся:

3) *Энергія вѣтра.* Движущійся воздухъ обладаетъ извѣстною кинетическою энергіею, которою и пользуются для движенія парусныхъ судовъ и вѣтряныхъ мельницъ. Источникомъ энергіи вѣтра служитъ также лучистая энергія солнца, нагрѣвающая земную поверхность. Происходящее при этомъ нагрѣваніи неравномѣрное распредѣленіе температуры въ массѣ воздуха производитъ вѣтеръ.

4) *Энергія движущейся воды.* Дѣйствіемъ нагрѣванія лучами солнца земной поверхности поднимается огромное количество воды въ видѣ паровъ на значительную высоту (лучистая энергія солнца преобразуется въ потенціальную энергію облаковъ), откуда вода обратно падаетъ на землю въ видѣ дождя, снѣга и т. п. (потенціальная энергія облаковъ переходитъ въ видимую энергію), образующихъ на земной поверхности ручьи, рѣки, потоки, энергіею которыхъ пользуются для дѣйствія водяныхъ колесъ.

И такъ, всѣ естественныя энергіи [1]), за исключеніемъ энергіи морскихъ приливовъ и отливовъ [2]), а также незначительнаго количества энергіи, которая содержится въ самородной сѣрѣ и магнитномъ желѣзнякѣ, имѣютъ своимъ источникомъ лучистую энергію солнца; слѣд., *всѣ двигатели, которыми пользуются въ промышленности, представляютъ не что иное, какъ лучистую энергію солнца, проявляющуюся въ той или другой формѣ.*

---

[1]) Всѣ перечисленныя выше естественныя энергіи принадлежатъ къ числу такъ наз. *первичныхъ* двигателей, представляющихъ самостоятельный источникъ мех. работы, если не принимать въ соображеніе ихъ общаго первоначальнаго источника—лучистой энергіи солнца. Что же касается *тяжести, упругости пружинъ и электричества*, то онѣ представляютъ *вторичные* двигатели, запасъ работы которыхъ имѣетъ источникомъ одинъ изъ первичныхъ двигателей.

[2]) Главная причина, производящая въ открытыхъ моряхъ и океанахъ безпрестанныя перемѣщенія огромныхъ массъ воды, наз. *приливами* и *отливами*, есть притяженіе ихъ къ землѣ и къ ближайшему небесному тѣлу —

4. Главнѣйшіе органы машинъ. Во всякой машинѣ различаютъ слѣдующія части:

1) *пріемникъ*, т. е. часть, на которую непосредственно дѣйствуетъ *двигатель*. Устройство пріемниковъ весьма разнообразно, въ зависимости отъ свойствъ двигателя. Сюда относятся: крылья вѣтряной мельницы, лопатки водянаго колеса, поршень паровой машины, рукоятка ворота и т. п.

2) *исполнительный механизмъ* или *орудіе*, т. е. органъ, на который непосредственно дѣйствуетъ *полезное сопротивленіе*. Эта часть, дѣйствуя на обработываемое тѣло, исполняетъ ту работу, для которой машина назначена; поэтому устройство ея зависитъ какъ отъ свойствъ обработываемыхъ тѣлъ, такъ и отъ качествъ исполняемой работы. Примѣры исполнительныхъ механизмовъ представляютъ: часовая стрѣлка, рѣзцы строгальныхъ, токарныхъ и др. станковъ, пила — въ лѣсопильной машинѣ, жернова — въ мукомольной мельницѣ и т. п.

3) *передаточные механизмы* или *приводы*, т. е. органы, служащіе для передачи движенія отъ пріемника орудію. Они имѣютъ по большей части вращательное движеніе (валы, колеса, шкивы) и остаются одни и тѣ же въ различныхъ машинахъ; но сочетанія ихъ измѣняются сообразно съ пространствомъ, отдѣляющимъ пріемникъ отъ орудія, а также съ тѣмъ условіемъ, чтобы движеніе пріемника было *преобразовано* въ такое движеніе орудія, какое необходимо для достиженія цѣли машины.

4) механизмы, служащіе для *регулированія* хода машинъ (маховыя колеса, регуляторы и пр.).

5) части, служащія для *поддержки* всей системы (станина и фундаментъ).

Въ машинахъ простѣйшаго устройства нѣкоторые изъ органовъ играютъ одновременно роль пріемника и орудія или передаточнаго механизма; напримѣръ, въ ломѣ тотъ конецъ, за который рабочій держитъ рукою, при поднятіи тяжести, будетъ пріемникомъ, орудіемъ — противоположный конецъ, а приводомъ — промежуточная часть.

Наоборотъ, цѣлая машина по отношенію къ фабрикѣ или заводу можетъ имѣть значеніе только одной части: пріемника или орудія. Такъ, напр., въ желѣзодѣлательномъ заводѣ, работающемъ водою или паромъ, водяное колесо или паровая машина, приводящая въ движеніе *главный рабочій валъ*, отъ котораго движеніе передается при помощи приводовъ всѣмъ прокатнымъ машинамъ, играетъ роль пріемника, а прокатныя машины роль орудія. По-

лунѣ, дѣйствующее попеременно вслѣдствіе вращательнаго движенія земли около своей оси. При помощи нѣкоторыхъ приспособленій въ приморскихъ мѣстностяхъ пользуются этими приливами и отливами для движенія водяныхъ мельницъ.

этому первыя наз. *машинами-пріемниками* или *машинами-двигателями* (моторами), а вторыя—*машинами-орудіями* или *рабочими машинами* (станками).

5. Уравненіе передачи работы машиною. Во всякой машинѣ кинетическая или потенціальная энергія двигателя преобразуется:

1) *въ работу полезныхъ сопротивленій*, представляемыхъ тѣлами всякому измѣненію своего вида и положенія. Такъ, напримѣръ, при обработкѣ издѣлій на станкахъ: токарномъ, строгальномъ и др.; при распиливаніи бревна; при разломѣ зерна и т. п., работа двигателя расходуется на преодолѣніе сцѣпленія молекулъ; при подъемѣ грузовъ подъемною машиною, или воды — насосами, происходитъ преобразованіе энергіи двигателя въ потенціальную энергію груза и т. д.

2) *въ работу вѣса частей машины*, дѣйствующаго при поднятіи ихъ центра тяжести какъ сопротивленіе, и при опусканіи—какъ движущая сила. Въ первомъ случаѣ часть энергіи двигателя преобразуется въ потенціальную энергію вѣса частей машины; во второмъ—потенціальная энергія вѣса частей преобразуется въ кинетическую энергію. Но ни въ какой машинѣ ц. тяжести не можетъ неопредѣленно только подниматься, или же только опускаться, слѣд., должно допустить, что измѣняемость положенія ц. тяжести будетъ *періодическая, т. е. ц. тяжести будетъ то подниматься, то опускаться*. Если общій центръ тяжести частей поднимается и опускается во все время движенія на одну и ту же высоту, то окончательно никакой затраты энергіи двигателя на работу вѣса частей машины не произойдетъ, ибо часть энергіи, затраченная на поднятіе ц. т. машины, возвращается для дѣйствія машины въ видѣ кинетической энергіи опускающагося вѣса.

3) *въ живую силу движущихся частей машины.* Если скорость машины *увеличивается*, то часть энергіи двигателя затрачивается на увеличеніе живой силы машины. Если затѣмъ скорость начнетъ *уменьшаться*, то часть живой силы машины преобразуется въ работу полезныхъ и безполезныхъ сопротивленій. Такимъ образомъ, энергія двигателя, затраченная на увеличеніе живой силы машины, не теряется вполнѣ для ея дѣйствія, но сохраняется ею въ видѣ живой силы и возвращается при удобномъ случаѣ для дѣйствія машины. Такъ, напр., когда двигатель прекращаетъ свое дѣйствіе, то нѣкоторое время машина еще будетъ работать, т. е. будетъ побѣждать полезныя и безполезныя сопротивленія, причемъ будетъ расходоваться та работа, которая была заключена въ массѣ органовъ въ видѣ живой силы; когда этотъ запасъ работы весь израсходуется, машина остановится. Наконецъ, *въ случаѣ равномѣрнаго движенія* машины не произойдетъ вовсе перехода энергіи двигателя въ живую силу машины (за исключеніемъ періода пусканія ея въ ходъ).

4) *въ живую силу* частицъ тѣлъ, входящихъ въ составъ машины, или въ *молекулярную энергію* (звуковую, тепловую, электрическую и пр.). Этотъ переходъ части энергіи двигателя въ молекулярную энергію обусловливается существованіемъ безполезныхъ сопротивленій—тренія и ударовъ въ точкахъ прикосновенія тѣлъ. Въ противоположность видимой, невидимая живая сила не можетъ быть ни въ какой машинѣ вполнѣ преобразована обратно въ работу: колебанія частицъ и теплота мало по малу передаются фундаменту. землѣ, окружающему воздуху.

Наконецъ, что касается внутреннихъ или частичныхъ силъ, обнаруживающихся при всякомъ измѣненіи формы тѣлъ, то, такъ какъ измѣненія формы правильно разсчитанныхъ частей машины всегда весьма незначительны, то можно принять, что запасъ работы частичныхъ силъ остается неизмѣннымъ во все время движенія.

Напишемъ теперь уравненіе живыхъ силъ въ примѣненіи къ машинѣ. Пусть c и v будутъ начальная и конечная скорости какой-либо частицы машины, соотвѣтствующія моментамъ t_1 и t, и m—масса ея. Тогда приращеніе живой силы для всей машины въ теченіе времени $t—t_1$ выразится: $\Sigma\frac{m}{2}(v^2-c^2)$. Обозначимъ буквами: T_m—работу двигателя, затраченную на движеніе машины въ разсматриваемый промежутокъ времени, T_u—работу полезныхъ сопротивленій, T_f — часть работы двигателя, преобразованную въ молекулярную энергію въ теченіе того же промежутка времени (*работу безполезныхъ сопротивленій*), и, наконецъ, PH—работу вѣса то поднимающихся, то опускающихся частей машины (P — общій вѣсъ этихъ частей, H—высота, на которую поднялся или опустился ихъ общій ц. тяжести). Искомое уравненіе будетъ: [1])

$$T_m - T_u \mp PH - T_f = \Sigma\frac{m}{2}(v^2-c^2) \quad \ldots\ldots\ldots (1).$$

Это уравненіе выражаетъ законъ передачи работы двигателя, а потому и наз. *уравненіемъ передачи работы*.

Изъ него видно, что работа, идущая на побѣжденіе полезныхъ сопротивленій, составляетъ часть работы, доставляемой двигателемъ; остальная часть энергіи двигателя поглощается безполезными сопротивленіями.

Примѣчаніе. Такъ какъ части машины соединены между собою опредѣленнымъ образомъ, допускающимъ только одно извѣстное движеніе, то одного ур. (1) достаточно для опредѣленія движенія всей системы, ибо по скорости одной точки можно найти скорости всѣхъ остальныхъ (§ 1).

6. Условія наивыгоднѣйшей передачи работы двигателя. Выгоды равномѣрнаго движенія машинъ. Часть работы двига-

[1]) *Учебникъ механики* автора, 1888 г. 3-е изданіе.

теля, идущая на преодолѣніе полезныхъ сопротивленій, носитъ названіе *полезной работы* [2]) или *полезнаго дѣйствія машины;* величина ея равна:

$$T_u = T_m - T_f \mp PH - \Sigma \frac{m}{2} (v^2 - c^2) \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

Понятно, чѣмъ больше выходитъ *полезная работа*, тѣмъ лучше дѣйствуетъ машина, тѣмъ выгоднѣе передача работы двигателя. Для опредѣленія условій наивыгоднѣйшей передачи работы машиною разсмотримъ вліяніе каждаго члена ур. (2) на величину полезной работы T_u.

Начнемъ съ энергіи двигателя T_m. Изъ ур. (2) видно, что чѣмъ больше эта работа, тѣмъ больше полезное дѣйствіе, при другихъ равныхъ условіяхъ. Поэтому необходимо стараться, чтобы двигатель доставлялъ наибольшую возможную работу, примѣняя средства о которыхъ будетъ сказано дальше.

Но при данной работѣ двигателя полезная работа будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше членъ T_f, ибо работа двигателя, затраченная на молекулярныя энергіи, теряется для дѣйствія машины вполнѣ и безвозвратно. Поэтому должно стараться уменьшать, по возможности, работу вредныхъ сопротивленій. Уменьшеніе потери работы, происходящей отъ *тренія*, достигается соотвѣтствующимъ выборомъ матеріала трущихся частей, возможно лучшею отдѣлкою ихъ поверхностей соприкасанія и употребленіемъ жирныхъ смазокъ, а также уменьшеніемъ вѣса трущихся частей и діаметра осей вращенія, не переходя однако предѣла, допускаемаго условіями прочности. Быстровращающіяся части стараются располагать такъ, чтобы центробѣжная сила ихъ, отъ которой зависитъ давленіе на ось, имѣла наименьшую величину; съ этою цѣлью стараются возможно лучше *центрировать* ихъ, т. е. располагать ц. тяжести ихъ по возможности ближе къ оси. Сбереженіе работы, поглощаемой *сопротивленіемъ среды* (воды или воздуха), достигается уменьшеніемъ, насколько это возможно, скорости движенія, такъ какъ это сопротивленіе пропорціонально квадрату скорости, а также сообщеніемъ движущимся частямъ надлежащей формы. Наконецъ, для уменьшенія потери работы двигателя, происходящей отъ *ударовъ*, должно избѣгать быстрыхъ перемѣнъ скоростей, сопровождаемыхъ всегда ударами; вредное вліяніе этихъ перемѣнъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ меньше скорость движенія, слѣд., и въ этомъ отношеніи полезно, по возможности, уменьшать скорость движенія. Если въ машинѣ есть части, имѣющія попеременное движеніе, то, во избѣжаніе

[2]) Въ отношеніи машинъ-двигателей, напр. водяного колеса, паровой машины, полезною работою наз. та работа, которую пріемникъ передаетъ исполнительнымъ механизмамъ.

ударовъ, геометрическая связь частей должна быть такого рода, чтобы скорость ихъ постепенно уменьшалась до нуля къ тому моменту, когда должно измѣниться направленіе движенія.

Что касается члена $\pm$ PH, то мы уже видѣли (§ 5), что въ окончательномъ результатѣ онъ не имѣетъ вліянія на полезную работу. Но во время хода машины, вліяніемъ вѣса частей, энергія двигателя будетъ періодически то увеличиваться, то уменьшаться, вслѣдствіе чего скорость движенія будетъ измѣняться, а это, какъ увидимъ ниже, не должно быть допускаемо. Замѣняя, гдѣ возможно, попеременное движеніе непрерывнымъ вращательнымъ, или употребляя противовѣсы, при помощи которыхъ ц. тяжести частей машины удерживается на одной высотѣ, уничтожаютъ вліяніе вѣса этихъ частей на ея движеніе.

Наконецъ, послѣдній членъ $\frac{1}{2}\Sigma m(v^2 - c^2)$ выражаетъ вліяніе живой силы движущихся частей машины на величину полезной работы. Подобно вѣсу частей, измѣненіе живой силы въ окончательномъ результатѣ не имѣетъ вліянія на полезную работу (§ 5). При *равномѣрномъ* же движеніи машины ($v = c$) этотъ членъ исчезаетъ, подобно члену $\pm$ PH, изъ ур. (1). Тогда будемъ имѣть:

$$T_m = T_u + T_f \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

т. е. при равномѣрномъ ходѣ машины *работа двигателя равна суммѣ работъ всѣхъ сопротивленій.* Тоже самое будетъ при *періодическомъ* движеніи для каждаго періода. При всякомъ нарушеніи равенства работъ двигателя и сопротивленій движеніе машины становится неравномѣрнымъ.

7. Выгоды равномѣрнаго движенія машинъ. Наивыгоднѣйшая скорость. Изъ всего вышесказаннаго видно, что для наивыгоднѣйшаго пользованія машиною движеніе ея должно быть *равномѣрное*, ибо при такомъ движеніи соприкасающіяся части не будутъ испытывать внезапныхъ измѣненій скорости, т. е. ударовъ и сотрясеній и, слѣд., машина будетъ служить дольше безъ порчи. Съ другой стороны, опытъ показываетъ, что во всякомъ производствѣ для совершенства вырабатываемыхъ издѣлій необходимо, чтобы исполнительный механизмъ обладалъ опредѣленною скоростью, зависящею отъ свойствъ обработываемыхъ матеріаловъ и соотвѣтствующею наилучшему качеству и наибольшему количеству получаемыхъ продуктовъ. Слѣдовательно, для наиболѣе успѣшной обработки, движеніе исполнительнаго механизма должно быть равномѣрное.

Наконецъ, замѣтимъ, что при томъ же количествѣ полезной работы, части машины, въ случаѣ перемѣннаго движенія, выдерживаютъ большія усилія, нежели въ случаѣ равномѣрнаго движенія; а какъ части машины должны быть разсчитаны по наибольшимъ дѣйствующимъ усиліямъ, то понятно, что при неравномѣр-

номъ движенiи машины части ея потребуютъ болѣе солидныхъ размѣровъ, вслѣдствiе чего увеличится вѣсъ ихъ, а вмѣстѣ съ нимъ и безполезныя сопротивленiя.

Такимъ образомъ, мы приходимъ къ общему выводу, что *равномѣрность* движенiя составляетъ существенно важное условiе наивыгоднѣйшаго пользованiя машиною. Что касается величины скорости этого движенiя, то она должна соотвѣтствовать наибольшей полезной работѣ (T_n max.) и наз. *наивыгоднѣйшею* или *нормальною* скоростью машины. Величина ея опредѣляется теоретическимъ или опытнымъ путемъ и, какъ увидимъ, неодинакова для различныхъ прiемниковъ.

8. Причины неравномѣрности движенiя машинъ. Въ дѣйствительности, однако, машины весьма рѣдко имѣютъ равномѣрное движенiе. Главныя причины неравномѣрности хода заключаются въ измѣняемости движущаго усилiя или полезнаго сопротивленiя или и того и другаго вмѣстѣ. Такъ, напримѣръ, всѣ машины, приводимыя въ движенiе силою животныхъ, силою вѣтра или пара, перемѣнныхъ по своей природѣ, не могутъ имѣть равномѣрнаго движенiя, вслѣдствiе измѣняемости движущаго усилiя. Въ мукомольныхъ мельницахъ никогда нельзя достигнуть совершенно равномѣрной засыпки зерна въ жернова, вслѣдствiе чего сопротивленiе раздробленiю будетъ то больше, то меньше; точно также сопротивленiе распиловкѣ бревна измѣняется вслѣдствiе неоднороднаго строенiя дерева и неправильно разбросанныхъ сучковъ. Всѣ эти машины даже будучи приведены въ движенiе постояннымъ двигателемъ, какъ вода, не могутъ имѣть равномѣрнаго хода.

Сверхъ того на неравномѣрность хода машины можетъ имѣть влiянiе вѣсъ движущихся частей, если центръ тяжести машины не остается постоянно въ одной и той же горизонтальной плоскости. Наконецъ, поперемѣнныя движенiя частей машины могутъ также служить причиною неравномѣрности ея хода.

9. Уравнители движенiя. И такъ, одною изъ существенно важныхъ задачъ при построенiи машины должно быть изысканiе условiй и средствъ, обезпечивающихъ равномѣрность ея хода или, по крайней мѣрѣ, не допускающихъ скорость машины уклоняться отъ ея наивыгоднѣйшаго значенiя дальше извѣстныхъ предѣловъ. Для этого, какъ было уже указано въ § 6, надо употреблять, если это возможно, для передачи движенiя только механизмы съ непрерывнымъ вращательнымъ движенiемъ; колеса должны быть хорошо центрированы, иначе центръ тяжести ихъ будетъ то подниматься, то опускаться, а потому будетъ измѣняться и скорость движенiя машины.

Въ большинствѣ случаевъ указанныхъ средствъ далеко не достаточно для достиженiя равномѣрности хода машины, а потому при машинахъ устраиваются особые механизмы, имѣющiе цѣлью

приблизить существующее движеніе машины къ равномѣрному или, какъ говорятъ, *регулировать* ея движеніе. Эти механизмы наз. *уравнителями* движенія; къ нимъ относятся: маховыя колеса, регуляторы, модераторы. При помощи этихъ механизмовъ варьированіе скорости машины можетъ быть ограничено весьма тѣсными предѣлами.

10. Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія машины. Каково бы ни было движеніе машины, работа двигателя для періода времени отъ начала хода ея до остановки, равна суммѣ работъ всѣхъ сопротивленій, т. е:

$$T_m = T_n + T_f,$$

ибо работа двигателя, затраченная на увеличеніе живой силы машины, возвратится окончательно для дѣйствія машины, когда прекратится работа двигателя; точно также работа, затраченная на поднятіе центра тяжести, возвратится при его опусканіи.

Отношеніе $\frac{T_n}{T_m}$ полезнаго дѣйствія къ валовой работѣ двигателя, носитъ названіе *коеффиціента полезнаго дѣйствія* машины, который мы будемъ обозначать буквою μ. Изъ предыдущаго ур. находимъ:

$$\mu = 1 - \frac{T_f}{T_m} \quad \ldots\ldots (4)$$

Откуда видно, что коефф. полезнаго дѣйствія всегда меньше 1, ибо работа вредныхъ сопротивленій хотя можетъ быть уменьшена, но нулемъ никогда не можетъ быть. Понятно, чѣмъ этотъ коефф. ближе къ 1, т. е. чѣмъ большая часть работы двигателя преобразуется въ полезное дѣйствіе, тѣмъ съ большею выгодою мы пользуемся машиною, тѣмъ она совершеннѣе. Поэтому при построеніи машинъ существенно важною задачею должно быть повышеніе по возможности коефф. полезнаго дѣйствія, служащаго мѣрою ихъ достоинства, средствами, о которыхъ было сказано въ § 6.

Коефф. полезнаго дѣйствія выражается обыкновенно *въ процентахъ валовой работы двигателя.* Въ существующихъ машинахъ онъ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,30 до 0,80 или отъ 30% до 80%. Машины съ коефф. полезнаго дѣйствія $<$ 0,50 считаются посредственными, а отъ 0,50 до 0,65—хорошими. Высшій коефф. полезнаго дѣйствія встрѣчается весьма рѣдко—въ машинахъ совершенной конструкціи, тщательной отдѣлки и при хорошемъ уходѣ за ними.

11. Невозможность построенія вѣчнаго двигателя (perpetuum mobile). Подъ этимъ названіемъ разумѣютъ такую *машину, которая, будучи разъ приведена въ движеніе, не только могла бы*

двигаться вѣчно сама собою, безъ всякаго новаго содѣйствія двигателя, но и была бы способна производить полезную работу, исключительно дѣйствіемъ собственнаго вѣса частей машины, требуя издержекъ только на одинъ ремонтъ [1]).

Чтобы выяснить невозможность построенія perpetuum mobile разсмотримъ движеніе машинъ въ *самомъ благопріятномъ случаѣ, когда она ходитъ порожнемъ*, не производя полезной работы. Понятно, что движеніе такой машины можетъ быть или *равномѣрнымъ* или *періодическимъ*, ибо центръ тяжести ея не можетъ неопредѣленно подниматься или опускаться. Предполагая, что ур. (1) написано для такой машины и при томъ для цѣлаго періода, мы должны положить въ немъ $H = 0$, $v = c$, $T_m = 0$ и $T_u = 0$, а тогда получимъ: $T_f = 0$, *что невозможно*, ибо вредныя сопротивленія уничтожены быть не могутъ; работа ихъ поглотитъ часть живой силы машины, вслѣдствіе чего скорость ея съ теченіемъ времени будетъ все уменьшаться и наконецъ рано или поздно обратится въ нуль: машина остановится. При участіи полезныхъ сопротивленій этотъ моментъ наступитъ, конечно, еще скорѣе.

---

[1]) До изобрѣтенія паровыхъ машинъ единственными двигателями служили: люди, животныя, вода и вѣтеръ. Но содержаніе людей и животныхъ требовало большихъ издержекъ, а вода и вѣтеръ, хотя и представляютъ даровые двигатели, но могутъ быть употреблены только при извѣстныхъ мѣстныхъ условіяхъ, а послѣдній сверхъ того, по причинѣ неправильности своего дѣйствія, можетъ служить лишь для такихъ работъ, гдѣ эта неправильность не имѣетъ большаго значенія, какъ напр. для размола зерна на вѣтряныхъ мельницахъ. Изобрѣтеніе паровыхъ машинъ дало большое развитіе промышленности, доставивъ возможность имѣть повсюду двигатель произвольной силы. Однако употребленіе этихъ машинъ требуетъ также безпрерывныхъ издержекъ, хотя, сравнительно, и меньшихъ, нежели живые двигатели. Задача о *perpetuum mobile*, появившаяся задолго до паровыхъ машинъ, въ эпоху быстрыхъ успѣховъ практической механики (16—17 в.), состояла въ стремленіи устроить машину, которая бы служила сама для себя двигателемъ, т. е. устроить машину, посредствомъ которой достигалась бы та же цѣль, что и при посредствѣ паровой машины, но которая требовала бы издержекъ только на одинъ ея ремонтъ. Несомнѣнно, изобрѣтеніе такой машины могло бы имѣть чрезвычайно важное практическое значеніе и могло бы составить эпоху въ развитіи промышленности, еслибы оно было возможно; но такое открытіе безусловно невозможно, какъ противорѣчащее закону энергіи. И дѣйствительно, всѣ попытки изобрѣсти perpetuum mobile были до сихъ поръ (и, безъ сомнѣнія, будутъ) вполнѣ безуспѣшны.

I.

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

(Прикладная кинематика).

---

12. Классификацiя приводовъ. Части машинъ имѣютъ двоякаго рода движенiе: *прямолинейное поступательное* и *вращательное*. Эти движенiя могутъ быть *непрерывныя*, если они совершаются постоянно въ одну сторону, и *возвратныя* или *качательныя*, если они совершаются попеременно то въ одну, то въ другую сторону. Существуетъ еще такъ наз. *перемежающееся* движенiе, т. е. съ остановками, но оно встрѣчается рѣдко. Чаще всего машины имѣютъ слѣдующiя движенiя: *прямолинейное возвратное* и *вращательное непрерывное* или *возвратное*. Поэтому мы ограничимся изученiемъ наиболѣе употребительныхъ механизмовъ, служащихъ для передачи и взаимнаго преобразованiя этихъ трехъ видовъ движенiя.

По общепринятой системѣ, предложенной англ. ученымъ *Робертомъ Уиллисомъ* [1]) всѣ передаточныя механизмы дѣлятся, по способу передачи движенiя, на три группы: къ *первой* группѣ относятся механизмы, передающiе движенiе *при помощи гибкихъ тѣлъ;* ко *второй—непосредственнымъ прикосновенiемъ*; и къ *третьей—помощью промежуточныхъ твердыхъ тѣлъ*.

Примѣчанiе. Способы передачи на *далекiя* разстоянiя при помощи *сжатаго воздуха* (пневматическая передача) и *воды* (гидравлическая передача), по причинѣ сложности устройства приспособленiй и дороговизны, не нашли себѣ такого распространенiя, какъ проволочная передача Гидравлическая же передача на *близкiя* разстоянiя имѣетъ обширное примѣненiе въ устройствѣ гидравлическихъ прессовъ и гидравлическихъ крановъ.

---

[1]) R. Willis. Principles of mechanisms. 1841

ГЛАВА I.

Передача движенія при помощи гибкихъ тѣлъ.

Назначеніе и общее устройство гибкихъ приводовъ. — Основной законъ передачи гибкими приводами. — Вліяніе растяженія ремня на передаточное число. — Валы и ихъ части. — Подшипники и подпятники. — Соединительныя муфты. — Ременная передача; кожаные и каучуковые ремни. — Натяжной блокъ.—Общія условія ременной передачи. — Направляющіе блоки.—Холостой шкивъ.—Ступенчатые шкивы.—Передача вращенія пеньковыми и проволочными канатами и цѣпями.—Задачи.

13. Назначеніе и общее устройство гибкихъ приводовъ. Гибкіе приводы употребляются для передачи *(трансмиссіи)* вращательнаго движенія между двумя *валами*, преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда разстояніе между ними весьма значительно.

Приводъ состоитъ изъ двухъ колесъ, насаженныхъ на валы, между которыми устраивается передача, и соединенныхъ между собою какимъ-либо гибкимъ тѣломъ *(безконечнымъ ремнемъ, канатомъ* или *цѣпью)*. Такія колеса, охваченныя безконечнымъ ремнемъ или канатомъ, наз. *шкивами*. При извѣстной натянутости ремня или каната, огибающаго ободья шкивовъ, между гибкимъ тѣломъ и шкивомъ развивается значительное сцѣпленіе, не дозволяющее первому скользить по поверхности ободьевъ, такъ что при вращеніи одного шкива ремень или канатъ заставитъ вращаться и другой шкивъ. Шкивъ, передающій движеніе, наз. *ведущимъ;* шкивъ, принимающій движеніе отъ ведущаго, наз. *рабочимъ*.

14. Основной законъ передачи гибкими приводами. Если при вращеніи шкивовъ гибкій приводъ *не скользитъ* по ихъ ободьямъ, т. е. точки окружности обоихъ шкивовъ проходятъ пути, равные путямъ, проходимымъ точками гибкаго привода, то скорость точекъ послѣдняго равна скорости на окружности обоихъ шкивовъ; слѣд., скорость на окружности обоихъ шкивовъ одинакова. Называя эту общую скорость шкивовъ A и B (фиг. 1) буквою v, а буквами ω_1, r_1, ω_2, r_2 ихъ угловыя скорости и радіусы, будемъ имѣть: $v=\omega_1 r_1$ и $v=\omega_2 r_2$, откуда $\omega_1 r_1=\omega_2 r_2$, или

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\frac{r_1}{r_2}=k \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

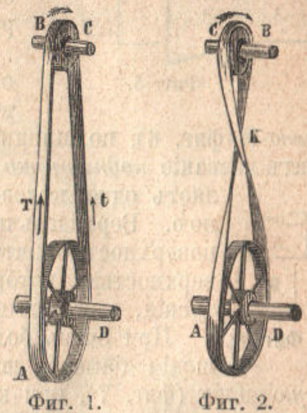
т. е. *угловыя скорости шкивовъ обратно-пропорціональны ихъ радіусамъ*.

Такъ какъ угловыя скорости пропорціональны числамъ оборотовъ, то, называя числа оборотовъ шкивовъ A и B буквами n_1 и n_2, получимъ другое выраженіе найденнаго закона:

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{r_1}{r_2}=k \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

т. е. *числа оборотовъ шкивовъ обратнопропорцiональны ихъ радiусамъ.* Отношенiе *k* числа оборотовъ малаго шкива къ числу оборотовъ большаго носитъ названiе *передаточнаго числа.*

При устройствѣ гибкаго привода радiусъ одного изъ шкивовъ выбирается произвольно, радiусъ же другаго шкива долженъ быть опредѣленъ при данномъ передаточномъ числѣ по формулѣ (6).

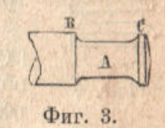


Фиг. 1. Фиг. 2.

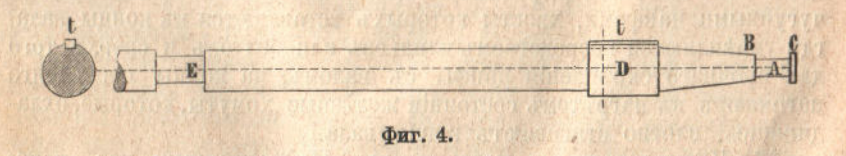
Что касается направленiя вращенiя рабочаго шкива, то оно зависитъ отъ расположенiя гибкаго привода: оба шкива будутъ вращаться въ одну сторону, когда приводъ *открытый*, т. е. когда онъ идетъ по наружнымъ касательнымъ, какъ на фиг. 1; шкивы будутъ вращаться въ разныя стороны, когда приводъ *перекрестный*, т. е. когда онъ идетъ по внутреннимъ касательнымъ, какъ на фиг. 2.

15. Валы и ихъ части. Валы раздѣляются, по положенiю геометрической оси, на *горизонтальные* и *вертикальные*; въ рѣдкихъ случаяхъ валы устанавливаются наклонно.

Валъ оканчивается двумя *цапфами* или *шипами* A (фиг. 3), имѣющими обыкновенно форму цилиндровъ, нѣсколько меньшаго дiаметра, нежели валъ; послѣднiй утверждается цапфами въ особыхъ опорахъ, носящихъ общее названiе *подшипниковъ.* Если шипъ помѣщенъ не на концѣ вала, а гдѣ либо посерединѣ, то онъ получаетъ названiе *шейки* (D, фиг. 4). Часть вала, на которую насаживается колесо, наз. *головкою* вала (E, фиг. 4); въ этомъ мѣстѣ валъ утолщается настолько, сколько этого требуетъ устройство паза для *шпонки* t, при помощи которой укрѣпляется колесо на валу. Для устраненiя продольныхъ передвиженiй



Фиг. 3.

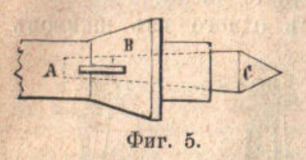


Фиг. 4.

вала въ подшипникахъ, цапфы снабжаются такъ наз. *заплечиками* B и C (фиг. 3); иногда довольствуются только одною закраиною B.

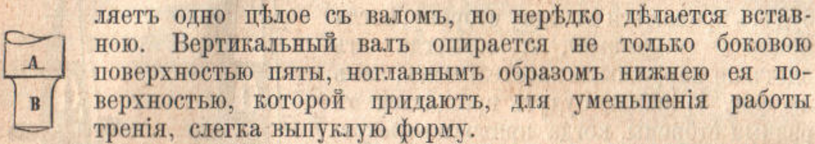
Въ тѣхъ случаяхъ, когда валъ выдерживаетъ незначительныя усилiя, цапфамъ придаютъ остроконечную форму, для уменьшенiя работы тренiя. Подобную форму имѣютъ, напр., цапфы вала (шпин-

деля) токарнаго станка (фиг. 5). Валъ А оканчивается конусомъ В, въ которомъ заклинивается хвостъ цапфы С. Цапфа упирается остріемъ С въ неподвижную стѣнку, въ которую она углубляется лишь небольшою своею частью. Иногда, впрочемъ довольно рѣдко, цапфамъ придаютъ шаровую форму.



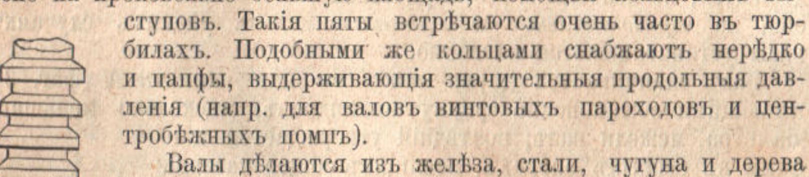
Фиг. 5.

Вертикальные валы въ верхней части оканчиваются цапфою, которая вращается въ подшипникѣ, а въ нижней части—*пятою* В (фиг. 6); подшипникъ, въ которомъ утверждается пята,носитъ названіе *подпятника* или *пятника*. Пята обыкновенно составляетъ одно цѣлое съ валомъ, но нерѣдко дѣлается вставною. Вертикальный валъ опирается не только боковою поверхностью пяты, ноглавнымъ образомъ нижнею ея поверхностью, которой придаютъ, для уменьшенія работы тренія, слегка выпуклую форму.



Фиг. 6.

При очень большихъ давленіяхъ на пяту, для уменьшенія діаметра послѣдней, устраиваютъ такъ наз. *кольцевую* пяту (фиг. 7), при которой давленіе можетъ быть распредѣлено на произвольно большую площадь, помощью кольцевыхъ выступовъ. Такія пяты встрѣчаются очень часто въ тюрбилахъ. Подобными же кольцами снабжаютъ нерѣдко и цапфы, выдерживающія значительныя продольныя давленія (напр. для валовъ винтовыхъ пароходовъ и центробѣжныхъ помпъ).


Фиг. 7.

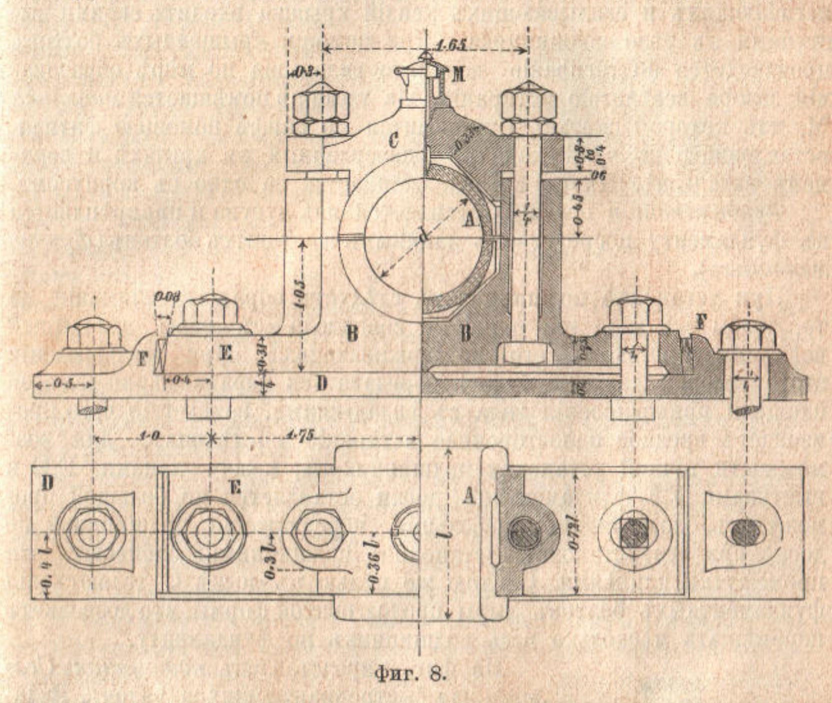
Валы дѣлаются изъ желѣза, стали, чугуна и дерева (дуба и сосны). *Стальные и желѣзные валы* имѣютъ обыкновенно сплошное круглое сѣченіе и только въ рѣдкихъ случаяхъ квадратное; *чугунные валы* дѣлаютъ сплошные и пустотѣлые, круглаго, звѣздообразнаго и крестовиднаго сѣченія. *Деревяннымъ валамъ* придаютъ обыкновенно призматическую форму (осьмигранную или четырехгранную) съ конусообразными концами. Чугунные и желѣзные валы составляютъ всегда одно цѣлое съ цапфами. Деревянные валы снабжаются желѣзными или чугунными цапфами, хвосты которыхъ вставляются въ концы вала, гдѣ укрѣпляются посредствомъ клиньевъ или болтовъ и сверхъ того для прочнаго скрѣпленія цапфы съ валомъ, на концы послѣдняго нагоняютъ въ нагрѣтомъ состояніи желѣзные хомуты, которые, охладившись, плотно стягиваютъ концы вала.

16. Подшипники и подпятники. *Подшипниками* наз. неподвижныя опоры для цапфъ, а *подпятниками* — для пятъ. Они бываютъ различной формы, сообразно съ назначеніемъ вала.

На фиг. 8 представленъ *лежачій подшипникъ* (для горизонтальнаго вала) обыкновеннаго устройства. Онъ состоитъ изъ слѣдующихъ 4 главныхъ частей: 1) изъ двухъ (иногда болѣе) *вкладышей*

А, непосредственно обхватывающихъ цапфу или шейку; 2) *корпуса* или *тѣла* подшипника В, на которомъ покоится нижній вкладышъ; 3) *крышки* С и 4) *фундаментной доски* D, на которой устанавливается подшипникъ.

Вкладыши имѣютъ обыкновенно внутри цилиндрическую форму, а снаружи многогранную (на фиг. 8—восьмигранную), рѣже сфери-



Фиг. 8.

ческую. Для многогранныхъ вкладышей дѣлается въ подшипникѣ соотвѣтственное многогранное же гнѣздо, чѣмъ предупреждается вращеніе вкладышей. Для предупрежденія сдвиганія вкладышей по оси гнѣзда они снабжаются закраинами, а для уменьшенія поверхности обработки—отливаются снаружи съ выемкою.

Вкладыши отливаются изъ болѣе мягкаго металла, нежели цапфа, чаще всего изъ *бронзы* (18 ч. олова и 82 ч. мѣди), въ послѣднее время изъ *фосфористой бронзы*. Вкладыши быстро вращающихся цапфъ часто заливаютъ мягкимъ сплавомъ — *бѣлымъ металломъ* (8 ч. мѣди, 80—олова и 12—цинка), а также *баббитомъ* (3 ч. мѣди, 7—антимонія и 90—олова). Иногда вкладыши дѣлаются изъ *бакаута*—съ цѣлью замѣны обыкновенной смазки масломъ—смазкою водою (напр. въ тюрбинахъ, валахъ винтовыхъ пароходовъ).

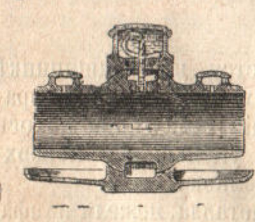
Корпусъ подшипника отливается всегда изъ чугуна и снабжается

лапами ЕЕ, черезъ которыя пропускаются болты *a,a*, служащія для прикрѣпленія подшинника къ фундаментной доскѣ D или прямо къ машинной рамѣ. Иногда тѣло подшинника отливается заодно съ машинною рамою.

Крышка подшинника (чугунная) укрѣпляется къ тѣлу посредствомъ 2 или 4 болтовъ. Для предохраненія этихъ послѣднихъ отъ изгибающихъ и скалывающихъ усилій крышка входитъ своими выступами въ тѣло подшинника. При помощи крышечныхъ болтовъ производится подтягиваніе верхняго вкладыша по мѣрѣ образованія зазора вслѣдствіе истиранія. На крышкѣ помѣщается *маслянка* М, изъ которой смазка [1]) проводится къ цапфѣ помощью фитиля, вставленнаго въ узкій каналъ, просверленный въ крышкѣ и верхнемъ вкладышѣ. Иногда крышка отливается за одно съ корпусомъ.

Фундаментная доска D отливается изъ чугуна и прикрѣпляется къ фундаменту посредствомъ длинныхъ желѣзныхъ болтовъ (*фундаментныхъ*).

При установкѣ подшипниковъ слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы ось вала въ точности совпадала съ осью вкладышей всѣхъ подшипниковъ, его поддерживающихъ. При несоблюденіи этого условія давленіе будетъ передаваться неравномѣрно по всей площади прикосновенія вала къ вкладышамъ, вслѣдствіе чего произойдетъ вредное одностороннее истираніе послѣднихъ. Для возможности точной установки подшипниковъ, между лапами Е,Е и выступами F,F фундаментной доски оставляется не большой промежутокъ, дозволяющій небольшія передвиженія подшипника по доскѣ при его установкѣ; установивъ подшипникъ, забиваютъ эти промежутки клиньями. Съ тою же цѣлью въ доскѣ C дѣлаютъ для фундаментныхъ болтовъ дыры продолговатой формы, что дозволяетъ перемѣщать нѣсколько весь подшипникъ по фундаменту.



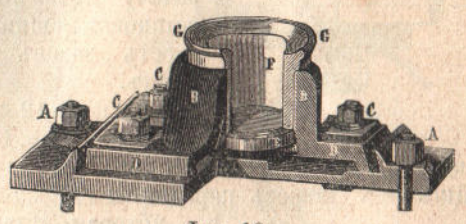
Фиг. 9.

На фиг. 9 представленъ *подшипникъ Селлерса* для быстровращающихся валовъ. Вкладыши дѣлаются чугунные (при желѣзныхъ цапфахъ) значительной длины съ цѣлью предотвращенія скораго изнашиванія. Чтобы дать возможность вкладышамъ до нѣкоторой степени приспособляться къ положенію вала, средняя часть ихъ дѣлается (снаружи) шарообразною. Кромѣ крышечной маслянки установлены по концамъ верхняго вкладыша еще двѣ маслянки,

[1]) Для смазыванія цапфъ употребляются *жидкія масла*: a) *растительныя*—деревянное, льняное и сурѣпное и b) *минеральныя* — черныя и бѣлыя, получаемыя посредствомъ перегонки изъ нефтяныхъ остатковъ. Эти масла, благодаря дешевизнѣ и отличнымъ смазывающимъ свойствамъ, вытѣсняютъ въ настоящее время всѣ остальныя. Изъ *твердыхъ* смазывающихъ веществъ наиболѣе употребляется *сало*—для смазки быстро нагрѣвающихся машин-

наполненныя саломъ; эти послѣднія начинаютъ смазываніе когда сало растопится вслѣдствіе чрезмѣрнаго нагрѣванія (35°C) вкладышей (по причинѣ недостаточной смазки среднею маслянкою, наполняемою обыкновенно масломъ). Подъ концами нижняго вкладыша устроены чашки для собиранія отработавшей смазки.

Подпятникъ обыкновеннаго устройства (фиг. 10) имѣетъ форму стакана В (чугуннаго), снабженнаго цилиндрическимъ (бронзовымъ) вкладышемъ FG. Въ случаѣ кольцевой пяты вкладыши снабжаются соотвѣтственными кольцевыми желобками. Дно стакана образуетъ стальная (иногда бакаутовая) подушка Е, на которую опирается пята; подушка удерживается неподвижно штифтомъ *a*. Подпятникъ привинчивается къ своей фундаментной доскѣ А,А поср. 4 болтовъ С,С.., пропущенныхъ сквозь лапы D,D; болты А,А служатъ для укрѣпленія фундаментной доски къ основанію. Смазка изъ чашки G,G проводится къ подушкѣ Е посредствомъ вертикальныхъ дорожекъ, сдѣланныхъ во вкладышѣ.



Фиг. 10.

При большихъ давленіяхъ пяты на подушку должно быть обращено особое вниманіе на непрерывное смазываніе трущихся частей; устраивая непрерывный токъ масла между трущимися поверхностями, не только уменьшаютъ треніе, но и достигаютъ очищенія трущихся поверхностей отъ стершихся частицъ, что предохраняетъ пяту и подушку отъ порчи. Самая пята въ такихъ случаяхъ дѣлается вставною, для удобства замѣны пяты, пришедшей въ негодность, новою. Въ нѣкоторыхъ подпятникахъ, для предупрежденія опусканія вала съ насаженными на немъ частями (вслѣдствіе истиранія), устраиваютъ подъемный винтъ, проходящій черезъ фундаментную доску и дно подпятника и упирающійся въ подушку Е. Подвинчивая его, поднимаютъ подушку, пока не уничтожится зазоръ между подушкою и пятою, образовавшійся отъ истиранія.

17. Соединеніе валовъ. Длинные передаточные валы составляются изъ отдѣльныхъ частей отъ 6 до 9 м. длиною, которыя соединяются между собою помощью *муфтъ*.

На фиг. 11 представлена въ продольномъ разрѣзѣ одна изъ наиболѣе употребительныхъ *глухихъ муфтъ*. На концахъ А и В

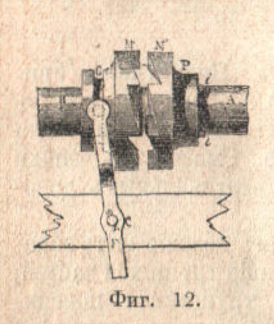
ныхъ частей, а въ смѣси съ *графитомъ* — для смазки зубцовъ зубчатыхъ колесъ. *Вода* примѣняется для смазки бакаутовыхъ вкладышей, главнымъ же образомъ употребляется въ мастерскихъ для охлажденія быстронагрѣвающихся машинныхъ частей (цапфъ прокатныхъ валковъ, рѣзцовъ токарныхъ, сверлильныхъ и т. п станковъ).

валовъ укрѣпляютъ помощью шпонокъ a и b чугунныя *шайбы* c,c, которыя стягиваются плотно болтами c. Percтъ этотъ не имѣетъ выступающихъ частей и можетъ служить какъ шкивъ для ремня.

Фиг. 11.

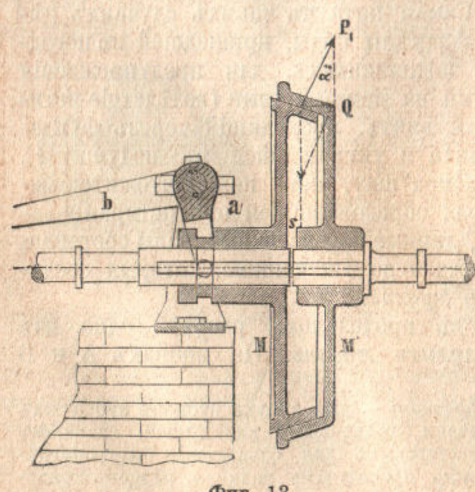
Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится по временамъ прекращать или возобновлять передачу вращенія между двумя валами (безъ остановки машины—двигателя), употребляется percтъ валовъ посредствомъ *раздвижныхъ* муфтъ.

На фиг. 12 изображена *раздвижная зубчатая муфта*. Она состоитъ изъ двухъ зубчатыхъ дисковъ N и N′, заклиненныхъ на концахъ валовъ B и A. Дискъ N можетъ передвигаться вдоль своего вала по шпонкѣ, которая дѣлается длиннѣе самаго диска. Сцѣпленіе и разцѣпленіе дисковъ производится помощью рычага F, вращающагося около оси C и снабженнаго вилкою, которая охватываетъ желобокъ G, выточенный на передвижномъ дискѣ N. Зубчатыя муфты находятъ большое примѣненіе въ *прядильныхъ машинахъ.* Для удобства сцѣпленія при быстромъ вращеніи валовъ шайбы дѣлаются съ мелкими зубцами и прилаживаются одна къ другой съ большою точностью. На *винтовыхъ пароходахъ* винтъ соединяется съ валомъ обыкновенно посредствомъ зубчатой муфты, съ тою цѣлью чтобы винтъ, будучи расцѣпленъ, могъ свободно вращаться, когда судно идетъ только на парусахъ.



Фиг. 12.

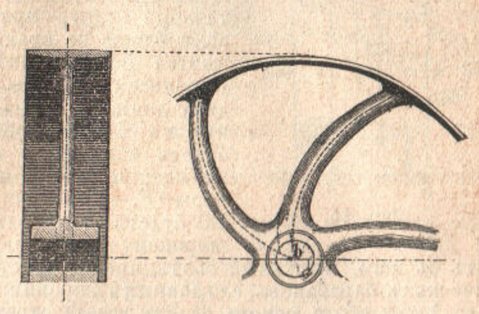
При небольшихъ передаваемыхъ усиліяхъ соединеніе валовъ можетъ быть произведено помощью *коническихъ трущихся муфтъ* (фиг. 13), которыя удобны въ томъ отношеніи, что сцѣпленіе происходитъ безъ ударовъ. Дискъ M передвижной и можетъ быть болѣе или менѣе нажатъ (при помощи вилообразнаго рычага a) на неподвижный дискъ M′ для возбужденія надлежащаго между



Фиг. 13.

ними сцѣпленія. Всякое случайное и значительное увеличеніе сопротивленія заставляетъ диски скользить одинъ по другому, чѣмъ предупреждается порча и поломки въ машинѣ.

18. Ременная передача. Шкивы, употребляемые при ременной передачѣ (фиг. 14) строятся почти всегда изъ чугуна и состоятъ изъ *обода*, *втулки* или *ступицы*, служащей для насаживанія шкива на валъ, на которомъ онъ укрѣпляется посредствомъ шпонки. Ободъ соединяется со ступицею при помощи *спицъ* или *ручекъ*, которыя обыкновенно отливаются за одно съ ободомъ и втулкою и дѣлаются прямыя, но чаще кривыя, для предупрежденія поломки ручекъ у обода, вслѣдствіе значительныхъ внутреннихъ напряженій, развивающихся при неравномѣрномъ охлажденіи обода и спицъ послѣ отливки. *Поверхность обода* шкивовъ дѣлается слегка *выпуклою* для предупрежденія соскакиванія ремня со шкива во время передачи.



Фиг. 14.

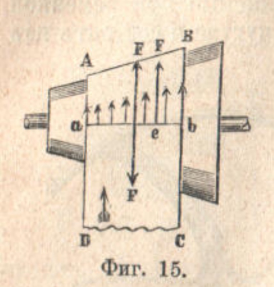
Для возможности насаживанія шкивовъ гдѣ угодно по длинѣ вала ихъ дѣлаютъ нерѣдко составными изъ двухъ половинъ, свинчиваемыхъ болтами. Очень большіе шкивы отливаютъ отдѣльными частями, которыя затѣмъ скрѣпляются прочно болтами. Въ послѣднее время въ Америкѣ и Англіи стали приготовлять *желѣзные шкивы*, представляющіе передъ чугунными преимущества въ отношеніи большей прочности, легкости и безопасности, ибо въ случаѣ разрыва обода, шкивъ не разлетается въ куски, какъ это бываетъ съ чугуннымъ.

Когда на ремень дѣйствуетъ боковое давленіе, могущее быть причиною соскакиванія ремня (напр. собственный вѣсъ ремня при вертикальныхъ валахъ), то ободья шкивовъ снабжаютъ небольшими закраинами, удерживающими ремень на шкивѣ.

Одно изъ главныхъ достоинствъ ременныхъ приводовъ состоитъ въ спокойной передачѣ движенія, поэтому ихъ особенно удобно ставить при частяхъ машинъ съ неравномѣрнымъ ходомъ, сопровождающимся толчками и сотрясеніями.

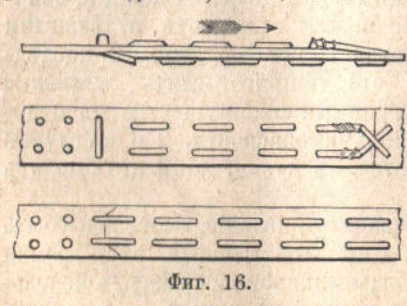
При установкѣ шкивовъ должно быть обращено вниманіе на тщательное *центрированіе* ихъ: геометрическая ось шкива должна совпадать съ осью вращенія, иначе шкивъ будетъ *бить*, вслѣдствіе чего натяженіе ремня будетъ періодически мѣняться—обстоятельство, вредно вліяющее на его прочность.

Чтобы объяснить явленіе соскакиванія ремня, положимъ, что ремень надѣтъ на коническій барабанъ (фиг. 15). Волокна ремня, близкія къ широкому краю барабана, будутъ натянуты сильнѣе, нежели волокна, находящіяся у края AD, такъ что систему натяженій, возбужденныхъ въ какомъ нибудь сѣченіи ab ремня можно представить рядомъ силъ, равномѣрно возростающихъ отъ края A къ краю B; слѣд., равнодѣйствующая этихъ натяженій будетъ приложена не посерединѣ линіи ab, а ближе къ краю BC. Пусть эта сила выражается по величинѣ и направленію линіею eF. Перенесемъ ее параллельно самой себѣ въ середину линіи ab; тогда получимъ силу F, приложенную къ серединѣ ремня, и пару (F,—F). Ремень будетъ находиться въ тѣхъ же условіяхъ, что и прежде; но теперь ясно, что вслѣдствіе дѣйствія пары (F,—F) ремень будетъ вращаться и край его BC будетъ все болѣе и болѣе приближаться къ широкому основанію конуса и наконецъ соскочитъ съ него. Выпуклый ободъ представляетъ случай какъ бы двухъ коническихъ барабановъ, сложенныхъ широкими основаніями. При подобномъ устройствѣ обода ремень будетъ всегда стремиться занять среднюю часть обода и, слѣдовательно, будетъ сохранять правильное положеніе.



Фиг. 15.

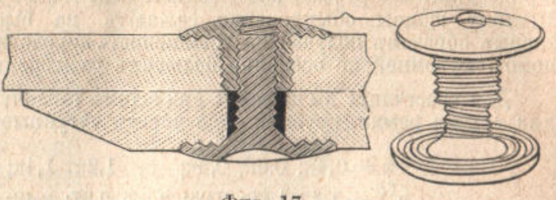
19. Кожаные ремни приготовляются изъ бычачьей (хребтовой) хорошо выдубленной кожи. Передъ употребленіемъ ремни сушатся и вытягиваются въ теченіе нѣсколькихъ дней усиліемъ, въ три или четыре раза большимъ того, которое они должны передавать. Сухой ремень во время работы скоро нагрѣвается, перегораетъ и лопается; поэтому ремни должно по временамъ (черезъ 2—3 мѣс.) смазывать особымъ жирнымъ составомъ *). Длинные ремни составляются изъ отдѣльныхъ кусковъ. Концы этихъ кусковъ заостряютъ, накладываютъ одинъ на другой, склеиваютъ и затѣмъ *сшиваютъ ремешками* (фиг. 16). Концы безконечнаго ремня сшиваются ремешками безъ склеиванія (для удобства перешиванія), или свинчиваются *винтиками* съ плоскими головками, или пристегиваются *пряжками* (при небольшихъ передаваемыхъ усиліяхъ), чѣмъ въ значительной степени облегчается подтягиваніе ремня. Весьма практичны для этой цѣли винтики Зонненталя (фиг. 17) съ лѣвой и правой нарѣзкою: они не такъ легко развинчиваются вслѣдствіе сотрясеній. *При передачѣ большихъ работъ* употребляютъ нѣсколько *параллельныхъ* ремней, но такіе ремни, неравномѣрно растягиваясь, не плотно охватываютъ шкивы и неправильно передаютъ движеніе. *Двойные* и *тройные* ремни, изъ наложенныхъ одна на другую, склеенныхъ и сшитыхъ вмѣстѣ полосъ кожи, невыгодны по слишкомъ большой ихъ жесткости и скорому изнашиванію. Лучшее средство для этой цѣли состоитъ въ *увеличеніи скорости* ремня. При значительной скорости широкихъ ремней между ними и ободомъ шкива образуется родъ вакуума, способствующаго плотному прилеганію ремня къ шкиву. Въ *Америкѣ* употребляются ремни для передачи до 500 пар. лош. при ширинѣ ремня до 1550 мм. и скорости до 30 м.



Фиг. 16.

*) Лучшій составъ для этой цѣли: 4 ч. ворвани, 2 ч. гарпіуса и 1 ч. дегтя; употреблять его должно въ горячемъ состояніи.

Кромѣ кожаныхъ употребляются также *каучуковые* ремни (изъ *вулканизированнаго* каучука—сплавленнаго съ сѣрою) съ перемежающимися слоями парусины. При одинаковой прочности, послѣдніе дешевле и могутъ имѣть какіе удобно размѣры: въ продажѣ имѣются ремни каучуковые до 90 м. длины, 750 мм. шир. и 13 мм. толщины. Они особенно удобны для сырыхъ помѣщеній



Фиг. 17.

Гуттаперчевые ремни мало употребительны по причинѣ значительнаго ихъ вытягиванія.

20. Натяженіе ремня. Если шкивы не вращаются, то натяженія обѣихъ вѣтвей ремня одинаковы. Когда ведущій шкивъ B (фиг. 1) начнетъ вращаться въ сторону стрѣлки, то сначала рабочій шкивъ A остается въ покоѣ, вслѣдствіе чего *набѣгающая* на шкивъ B вѣтвь растягивается, а *сбѣгающая*—нѣсколько ослабляется. При этомъ натяженіе набѣгающей вѣтви увеличится, а сбѣгающей уменьшится противъ первоначальной величины. Назовемъ буквою T натяженіе первой, а буквою t натяженіе второй. Моменты ихъ относительно оси D будутъ: Tr_2 и $-tr_2$; равнодѣйствующій моментъ$=(T-t)r_2$, слѣд. шкивъ этотъ приводится во вращеніе силою $T-t$. Когда разность $T-t$, постепенно увеличиваясь, при вращеніи шкива B, получитъ величину, достаточную для преодолѣнія всѣхъ сопротивленій на валу D, то шкивъ A начнетъ вращаться. Если P есть передаваемое усиліе приложенное къ окружности шкива A и происходящее отъ полезныхъ и вредныхъ сопротивленій рабочей машины, получающей отъ него движеніе, и тренія въ цапфахъ привода, то, на основаніи только что сказаннаго, можемъ написать: $P=T-t$. Но извѣстно, что для того, чтобы ремень не скользилъ по шкиву, между натяженіями T и t должно существовать соотношеніе: $T \leqq te^{f\alpha}$, гдѣ e есть основаніе неперовыхъ логариѳмовъ, равное 2,7182818.., f—коэфф. тренія между ремнемъ и шкивомъ и α—длина охваченной ремнемъ дуги, отнесенной къ радіусу=1. И такъ: $P=T\frac{e^{f\alpha}-1}{e^{f\alpha}}$ будетъ наибольшая разность натяженій, при которой возможна передача движенія ремнемъ; а наибольшая величина работы, которую возможно передать ремнемъ будетъ: $L=Pv=P\frac{2\pi r.\,n}{60}=T\frac{e^{f\alpha}-1}{e^{f\alpha}}\cdot\frac{2\pi r.\,n}{60}$, откуда:

$$T=L\frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha}-1}\cdot\frac{60}{2\pi r.n}\ldots(a)$$

Средняя же (первоначальная) натянутость въ покоѣ будетъ: $T_0=\frac{T+t}{2}$.

Въ обыкновенныхъ случаяхъ $\alpha=0{,}8\pi$, а тогда $e^{f\alpha}=2{,}02$, слѣд.,

$T=P\frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha}-1}=1{,}98P$; $t=\frac{P}{e^{f\alpha}-1}=0{,}98P$, или въ круглыхъ числахъ: $T=2P$; $t=P$, и средняя натянутость $T_0=1{,}5P$.

Изъ равенства (а) видно, что *при данныхъ размѣрахъ ремня и шкива передаваемая имъ работа тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость вращенія шкива.* Поэтому шкивы обыкновенно сажаютъ на быстровращающіеся валы: такимъ образомъ получается возможность передавать значительныя работы помощью ремней не особенно большихъ размѣровъ.

Для облегченія вычисленій приводимъ табличку значеній величины $e^{f\alpha}$ для случая ремня, перекинутаго черезъ чугунные шкивы:

$$\pi = 0{,}4\pi;\ 0{,}6\pi;\ 0{,}8\pi;\ \ \pi;\ \ 1{,}2\pi;\ 1{,}4\pi;\ 1{,}6\pi;\ 1{,}8\pi.$$
$$e^{f\alpha} = 1{,}42;\ 1{,}69;\ 2{,}05;\ 2{,}41;\ 2{,}87;\ 3{,}43;\ 4{,}09;\ 4{,}87.$$

Примѣчаніе 1. Если углы, охватываемые ремнемъ на шкивахъ различны, то въ вычисленіяхъ надо брать меньшій уголъ, чтобы ремень не скользилъ по окружности котораго либо изъ нихъ.

Примѣчаніе 2. На самомъ дѣлѣ натяженіе набѣгающей вѣтви болѣе T, вычисленнаго выше, какъ указалъ впервые *Ранкинъ*, вслѣдствіе дѣйствія центробѣжной силы (въ особенности при быстровращающихся шкивахъ). Дѣйствіе центробѣжной силы вызываетъ значительныя напряженія также въ ободѣ, который во избѣжаніе разрыва, не долженъ имѣть скорость болѣе 30 м. въ сек.

21. Вліяніе растяженія ремня на передаточное число. Вслѣдствіе неодинаковаго натяженія набѣгающей и сбѣгающей вѣтвей ремня (§ 20) длина s_1 ремня, набѣгающая на ведущій шкивъ B (фиг. 1) не равна, какъ мы предполагали, длинѣ s_2 ремня, набѣгающей въ тоже время на рабочій шкивъ A, а нѣсколько больше ея, поэтому *дѣйствительное передаточное число будетъ нѣсколько больше вычисленнаго по формулѣ* (6).

Если T есть натяженіе набѣгающей вѣтви, а t—сбѣгающей и s длина ненатянутаго ремня, соотвѣтствующая s_1 и s_2, то, $s_1 = s + s\alpha T$, гдѣ α есть удлиненіе ед. длины ремня при дѣйствіи ед. силы, а $s_2 = s + s\alpha t$. Эти длины s_1 и s_2 представляютъ пути, пройденные ремнемъ въ одно и тоже время на окружности шкивовъ, поэтому, на основаніи свойствъ равномѣрнаго движенія, мы можемъ написать:

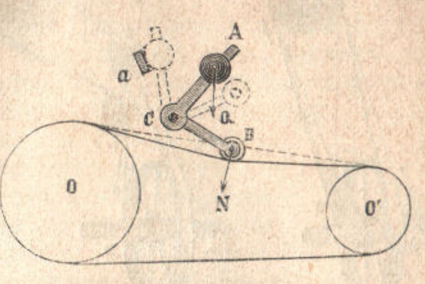
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2} = \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}, \text{ или } \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}.$$

Откуда видимъ, что *вслѣдствіе неодинаковаго растяженія ремня уменьшается число оборотовъ рабочаго шкива.*

По опытамъ фр. инж. *Кретца*, впервые обратившаго вниманіе на это обстоятельство, для новыхъ ремней $\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} = 0{,}975$, а для старыхъ 0,978, т. е. число оборотовъ рабочаго шкива уменьшается приблизительно на 2%. Хотя это уменьшеніе невелико, однако при передачѣ нѣсколькими ремнями можетъ получиться значительная разница. Для устраненія этой разницы, выбравъ радіусъ одного шкива и опредѣливъ радіусъ другаго по формулѣ (6), надо увеличить радіусъ ведущаго шкива на 2%.

22. Натяжной блокъ. Для приданія ремню надлежащей натянутости его сшиваютъ нѣсколько короче требуемой длины и за тѣмъ растягиваютъ при надѣваніи на шкивы. Но несмотря на предварительное вытягиваніе, ремни, въ особенности новые, удлинняясь съ теченіемъ времени, ослабѣваютъ на столько, что дальнѣйшая передача движенія дѣлается невозможною. Поэтому необходимо повременамъ под-

тягивать ихъ, что можетъ быть произведено перешиваніемъ ремня или увеличеніемъ разстоянія между осями, тамъ, гдѣ это возможно; но лучшій способъ заключается въ устройствѣ такъ наз. *натяжныхъ блоковъ* (фиг. 18). Блокъ B, установленный на концѣ ломанаго рычага ACB, нажимаетъ на ремень дѣйствіемъ противовѣса Q, прикрѣпленнаго къ другому концу рычага. Треніе ремня увеличивается при этомъ вслѣдствіе двухъ причинъ: 1) вслѣдствіе увеличенія натяженія ремня и 2) вслѣдствіе увеличенія дугъ, охватываемыхъ ремнемъ. Передвигая противовѣсъ Q вдоль плеча AC рычага, можно измѣнить, въ большей или меньшей степени, давленіе блока на ремень. Натяжной блокъ можетъ служить также для остановки шкивовъ, для чего стоитъ только откинуть противовѣсъ Q на неподвижную подпорку a.

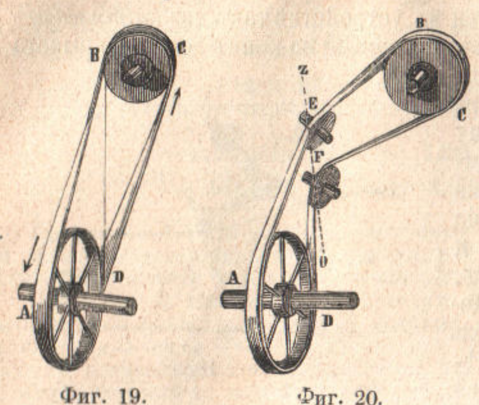


Фиг. 18.

23. Общія условія ременной передачи. Ременная передача обладаетъ слѣдующимъ свойствомъ: если произвести на *набѣгающій* конецъ ремня боковое давленіе, то онъ соскочитъ со шкива и движеніе прекратится, между тѣмъ *сбѣгающій* конецъ можетъ быть отведенъ довольно далеко въ сторону безъ нарушенія передачи движенія. Поэтому, для достиженія правильной передачи движенія, необходимо соблюденіе слѣдующаго условія: *чтобы средняя линія набѣгающаго конца ремня лежала въ средней плоскости шкива.* Если это условіе выполнено только для набѣгающихъ концовъ, то передача вращенія возможна только въ одну сторону; если же среднія линіи не только набѣгающихъ, но и сбѣгающихъ концовъ лежатъ въ средней плоскости шкивовъ, то движеніе будетъ возможно въ обѣ стороны.

24. Направляющіе блоки. Направляя надлежащимъ образомъ концы ремня, можно пользоваться ременною передачею и въ тѣхъ случаяхъ, когда оси шкивовъ не параллельны между собою или хотя и параллельны, но шкивы расположены въ различныхъ плоскостяхъ. На фиг. 19 представлена ременная передача между двумя *взаимно-касательными шкивами.* Такъ какъ предыдущее условіе выполнено здѣсь только для набѣгающихъ концовъ ремня, то передача возможна лишь въ одну сторону. Для достиженія передачи въ обѣ стороны прибѣгаютъ къ устройству *направляющихъ* или *отводныхъ* блоковъ, которые служатъ для измѣненія направленія ремня. Фиг. 20 изображаетъ передачу въ случаѣ *не пересѣкающихся и не параллельныхъ осей.* Отводные блоки располагаютъ слѣдующимъ образомъ. На линіи OZ пересѣченія плоскостей шкивовъ берутъ произвольно

двѣ точки E и F. Въ плоскости AEB, опредѣляемой касательными EA и EB, проведенными изъ точки E къ среднимъ сѣченіямъ шкивовъ, помѣщаютъ при точкѣ E одинъ отводный блокъ, такъ, чтобы ось его была перпендикулярна къ плоскости AEB; подобнымъ же образомъ устанавливаютъ второй отводной блокъ въ плоскости CFD. Перекинувъ безконечный ремень черезъ шкивы и блоки, получаютъ требуемую передачу, ибо концы AE и FD ремня лежатъ оба въ плоскости шкива AD, а концы EB и FC — въ плоскости шкива BC.

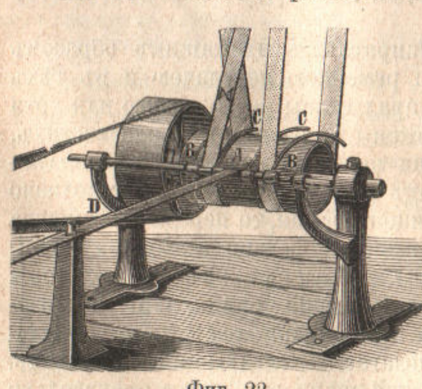


Фиг. 19. Фиг. 20.

25. Холостой шкивъ. Ременная передача представляетъ наиболѣе употребительное на фабрикахъ средство для передачи движенія отъ главнаго вала, получающаго движеніе отъ машины-двигателя различнымъ рабочимъ машинамъ или станкамъ. При каждомъ станкѣ необходимо должны существовать приспособленія. дозволяющія останавливать, по временамъ, движеніе отдѣльныхъ станковъ мастерской, не прекращая движенія машины-двигателя. Для этого рядомъ съ рабочимъ шкивомъ C (фиг. 21) на валъ AB сажаютъ вольно другой шкивъ D, который вращается какъ телѣжное колесо на оси, не увлекая за собою вала AB. Этотъ шкивъ носитъ названіе *холостаго шкива*. При помощи рычага FKL, вилка котораго охватываетъ набѣгающій конецъ ремня, переводятъ ремень съ рабочаго шкива на холостой, вслѣдствіе чего станокъ останавливается.

Фиг. 21.

Подобнымъ же механизмомъ пользуются для перемѣны хода въ нѣкоторыхъ станкахъ. Для этого сажаютъ на рабочій валъ два холостыхъ шкива B,B (фиг. 22) изъ которыхъ каждый вдвое шире ремня; между ними заклиниваютъ рабочій шкивъ A также двойной ширины, а на верхнемъ приводномъ валу



Фиг. 22.

заклиниваютъ одинъ шкивъ, ширина котораго равна ширинѣ всѣхъ трехъ шкивовъ A,B,B вмѣстѣ взятыхъ. Лѣвая вилка C охватываетъ *перекрестный* ремень, правая—*открытый*. При положенiи ремней, показанномъ на чертежѣ, станокъ въ покоѣ. Передвинувъ, при помощи рычага D и вилокъ C, открытый или перекрестный ремень на рабочiй шкивъ A, даютъ станку прямой или обратный ходъ.

26. Ступенчатые шкивы. Если рабочiй валъ долженъ вращаться, смотря по обстоятельствамъ, съ различными скоростями, то обыкновенные шкивы замѣняютъ *ступенчатыми* (фиг. 23) [состоящими изъ нѣсколькихъ шкивовъ (3—въ долбежныхъ станкахъ и шепингъ-машинахъ, до 5—въ токарныхъ и сверлильныхъ) различной величины, отлитыхъ за одно цѣлое. На оба вала сажаютъ совершенно одинаковые ступенчатые шкивы, но въ обратной послѣдовательности ступеней. Дiаметръ ступеней измѣняется на обоихъ шкивахъ по опредѣленнному закону, соотвѣтствующему условiю, чтобы при всякой перемѣнѣ положенiя ремня длина его не измѣнялась.

Фиг. 23.

Если назовемъ буквами r_1, r_2, r_3, r_4 послѣдовательные радiусы обоихъ шкивовъ, и буквою n число оборотовъ ведущаго вала, то не измѣняя этого числа, можно сообщить рабочему валу слѣдующiя числа оборотовъ: $n\frac{r_1}{r_4}$, $n\frac{r_2}{r_3}$, $n\frac{r_3}{r_2}$, $n\frac{r_4}{r_1}$, смотря потому, какую послѣдовательную пару шкивовъ охватываетъ ремень.

Ступенчатые шкивы ставятся главнымъ образомъ въ токарныхъ, сверлильныхъ, строгальныхъ и долбежныхъ станкахъ, скорость движенiя которыхъ мѣняется въ зависимости отъ степени отдѣлки, размѣровъ обработываемаго предмета и отъ свойствъ обработываемаго матерiала: чѣмъ тверже металлъ, тѣмъ медленнѣе должно быть вращенiе, во избѣжанiе скорой порчи рѣзца, и, наоборотъ, при мягкомъ металлѣ можно допустить большее число оборотовъ.

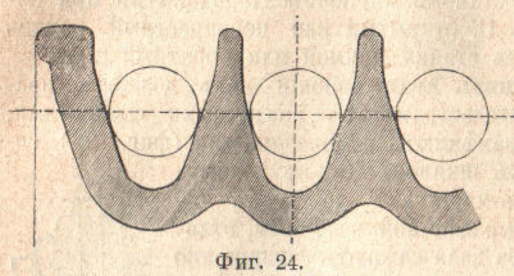
Примѣръ. Ведущiй валъ дѣлаетъ 60 оборотовъ въ минуту; отъ него вращенiе передается токарному станку посредствомъ шкива изъ 4-хъ ступеней слѣдующихъ дiаметровъ: 16; 23,2; 30.4; 37,6 сант.; при этомъ шпиндель токарнаго станка можетъ получить рядъ чиселъ оборотовъ: 27; 45; 87; 132 въ мин.

27. Передача вращенiя канатами и цѣпями. Основныя начала передачи тѣ же, что и для ремней.

Канаты дѣлаются *пеньковые* и *проволочные* (желѣзные и стальные). Первые употребляются при передачахъ значительныхъ работъ на разстоянiи отъ 6—18 м., вторые—отъ 15 м. до нѣсколькихъ километровъ.

Пеньковые канаты свиваются изъ трехъ *прядокъ* или *стренгъ*; прядки свиваются изъ тонкихъ и ровныхъ нитей лучшей пеньки; передъ употребленiемъ въ дѣло канаты слѣдуетъ вытягивать. Для

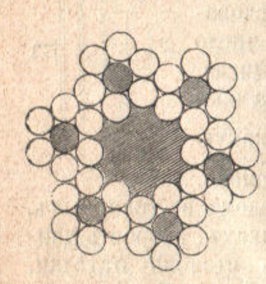
передачи значительныхъ работъ употребляютъ нѣсколько канатовъ (до 20), которые перекидываютъ черезъ одинъ и тотъ же шкивъ, снабженный клинообразными желобками (фиг. 24). Иногда для этой цѣли пользуются маховикомъ паровыхъ машинъ. Пеньковые канаты служатъ отъ 3 до 5 лѣтъ.



Фиг. 24.

Если передаваемое усиліе незначительно (напр. въ приводѣ швейныхъ машинъ, регуляторовъ, ножныхъ токарныхъ станковъ и т. п.), то передачу производятъ однимъ тонкимъ канатомъ (*струною*) изъ пеньки, джута, бумаги, скрученнаго ремня. Концы такой струны соединяются навинченными на нихъ крючками.

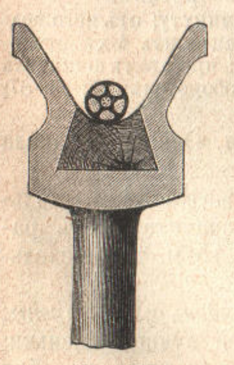
28. *Проволочный* канатъ свивается изъ 6 стренгъ (фиг. 25), каждая въ 6 желѣзныхъ (лучше изъ стальныхъ) проволокъ, скрученныхъ вокругъ пеньковой прядки на 8°—15°. Стренги въ канатѣ скручиваются до такой же степени, но только въ противоположную сторону. Въ середину между стренгами помѣщаютъ пеньковый канатъ, съ цѣлью придать проволочному канату гибкость и предохранить его отъ ржавленія съ внутренней стороны. Для предохраненія отъ ржавленія снаружи канатъ должно какъ можно чаще смазывать смѣсью льнянаго масла, смолы и графита.



Фиг. 25.

Главный недостатокъ проволочныхъ канатовъ состоитъ въ томъ, что съ теченіемъ времени подъ вліяніемъ сотрясеній измѣняется внутреннее строеніе металла проволокъ и канаты часто неожиданно разрываются. Вслѣдствіе этого въ Бельгіи проволочные канаты были замѣнены въ рудникахъ канатами изъ алоэ. Въ Германіи и Англіи проволочные канаты мѣняются черезъ каждые $1^1/_2$ г., хотя бы и не было замѣтно въ нихъ наружныхъ пороковъ.

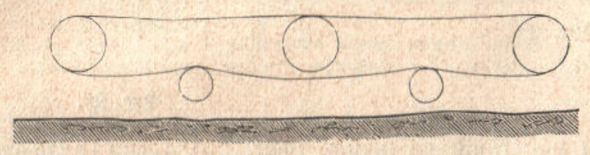
Шкивы для проволочныхъ канатовъ (чугунные съ чугунными или желѣзными спицами) имѣютъ на ободѣ глубокій желобокъ или *горло* трапецоидальной формы (фиг. 26). Дно горла шкивовъ выложено деревомъ, или кусочками



Фиг. 26.

кожи (для очень тяжелыхъ канатовъ), поставленными на ребро. Для этого изъ старыхъ ремней вырѣзаютъ трапецевидные куски, которые вставляются черезъ боковыя отверстія, сдѣланныя въ ободѣ шкива, послѣ чего отверстія эти задѣлываются желѣзными накладками, а кожаная набойка обтачивается на токарномъ станкѣ.

Натяженіе и происходящее отъ него сцѣпленіе между канатомъ и шкивомъ, возбуждаемыя собственнымъ вѣсомъ каната, достаточны для передачи движенія. При большомъ разстояніи между шкивами, канатъ получаетъ значительный провѣсъ. Если такой провѣсъ не допускается мѣстными условіями, то для поддержанія каната устанавливаютъ на каменныхъ или желѣзныхъ колоннахъ между рабочими шкивами нѣсколько поддерживающихъ блоковъ, такой же конструкціи какъ и рабочіе шкивы (фиг. 27), въ разстоя-



Фиг. 27.

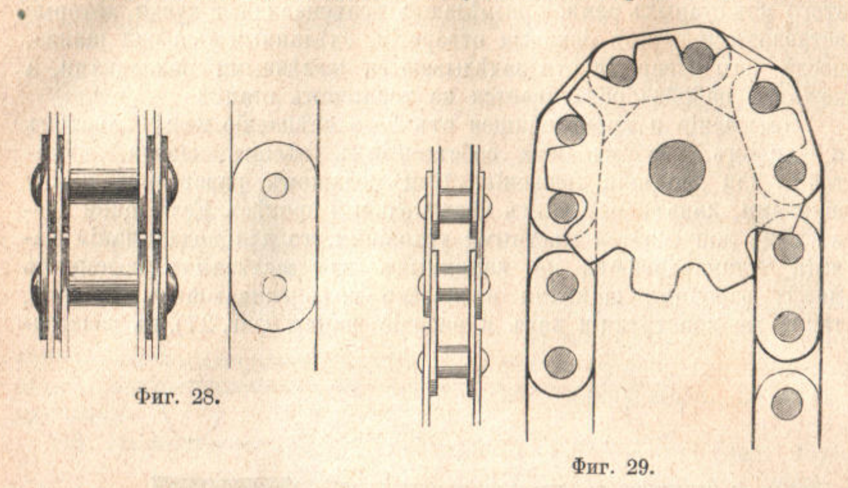
ніи 100 м. одинъ отъ другаго. Для уменьшенія жесткости каната, шкивамъ для проволочной передачи даютъ діам. отъ 3 до 4 м.; число оборотовъ шкивовъ обыкновенно очень велико—отъ 100 до 150 въ мин., что соотвѣтствуетъ скорости каната около 30 м. Чѣмъ больше скорость каната, тѣмъ удобнѣе и съ тѣмъ меньшею потерею работы передается движенію.

Проволочные канаты вошли въ употребленіе съ 1822 г. въ гарцскихъ рудникахъ, гдѣ они примѣнялись для передачи движенія съ поверхности земли внутрь шахтъ (при машинномъ передвиженіи грузовъ). Ими пользовались также для движенія судовъ, при паровомъ паханіи (съ 1848 г.) но вполнѣ раціональная проволочная передача (телединамическій кабель) была устроена впервые фр. инж. Ферд. Гирномъ въ 1850 г. въ Локльбахѣ (Эльзасъ) и съ тѣхъ поръ все болѣе и болѣе распространяется. Допуская передачу движенія на значительныя разстоянія при небольшой потерѣ работы, проволочные канаты даютъ возможность пользоваться двигателемъ для дѣйствія фабрикъ и заводовъ, расположенныхъ въ нѣкоторомъ удаленіи отъ источника силы, въ болѣе удобной мѣстности. Такимъ способомъ передается, напр., работа, доставляемая водопадомъ Роны (около 4000 паровыхъ лошадей) близь селенія *Бельгардъ* для дѣйствія многочисленныхъ фабрикъ, расположенныхъ вокругъ этого селенія.

29. Въ случаѣ значительныхъ и перемѣнныхъ усилій, при медленной передачѣ, прибѣгаютъ къ помощи *цѣпей*, если почему-либо неудобно или невозможно устроить передачу зубчатыми колесами.

Наибольшее примѣненіе въ практикѣ имѣютъ такъ наз. *шарнирныя цѣпи* или *цѣпи Галля* (фиг. 28) съ плоскими желѣзными звеньями, соединенными между собою болтами. Шкивы для этой

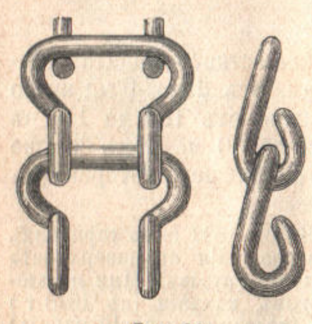
цѣпи снабжаются на ободкахъ выступами, за которые захватываютъ



Фиг. 28.

Фиг. 29.

звенья при набѣганіи на шкивъ (фиг. 29). Цѣпи Галля отличаются прочностью и употребляются для передачи большихъ усилій. Для передачи сравнительно меньшихъ усилій пользуются не рѣдко *крючковою цѣпью Вокансона* (фиг. 30), которая собирается изъ звеньевъ особой формы, изготовляемыхъ изъ круглаго желѣза. При такой формѣ звеньевъ цѣпь легко и правильно навивается на шкивы. Послѣдніе имѣютъ устройство, подобное изображенной на фиг. 30 *шестернѣ Галля*.



Фиг 30.

Цѣпи имѣютъ общирное примѣненіе въ землечерпательныхъ машинахъ, въ станкахъ для вытягиванія трубъ, въ подъемныхъ кранахъ и т. п.

ЗАДАЧИ.

1. Опредѣлить потерю работы въ сек. на треніе цилиндрической цапфы, если радіусъ ея r, нормальное давленіе на цапфу P, число оборотовъ въ мин. n и коеффиціентъ тремя f.

2. Опредѣлить потерю работы въ сек. на треніе цилиндрической пяты при данныхъ предыдущей задачи.

3. Посредствомъ коническихъ трущихся муфтъ (фиг. 13), средній радіусъ которыхъ $= R$, передается N пар. лош. Муфта дѣлаетъ n оборотовъ въ мин., уголъ между производящею конуса и осью $= \alpha$, коеф. тренія $= f$. Опредѣлить: 1) Усиліе P, передаваемое на средней окружности муфты и его мо-

ментъ относительно оси муфты; 2) давленіе Q по направленію оси для произведенія необходимаго сцѣпленія.

Численный примѣръ: $N = 1,5$; $n = 50$; $R = 0,25$ м.; $\alpha = 10°$; $f = 0,15$.

4. Опредѣлить величину дуги α, огибаемой открытымъ ремнемъ на меньшемъ шкивѣ, если разстояніе между осями шкивовъ$=d$, а радіусы r и R.

5. Найти величину дуги α, огибаемой перекрестнымъ ремнемъ на большомъ шкивѣ.

6. Рѣшить предыдущія задачи по слѣдующимъ даннымъ: $r=8''$; $R=30''$; $d = 144''$.

7. Показать, что въ случаѣ перекрестнаго ремня длина его $L = (R + r) \left\{\pi + 2\alpha\right\} + 2d\sqrt{1-\left(\frac{R+r}{d}\right)^2}$, гдѣ α есть острый уголъ, образуемый ремнемъ съ линіею центровъ и выраженный въ частяхъ радіуса.

8. Показать, что въ случаѣ открытаго ремня длина его $L = \pi(R + r) + 2\alpha(R - r) + 2d\sqrt{1-\left(\frac{R-r}{d}\right)^2}$.

9. Опредѣлить отношеніе скоростей груза и свободнаго конца веревки въ подвижномъ блокѣ и полиспастахъ.

10. Опредѣлить натяженіе T ведущаго конца ремня, охватывающаго полуокружность чугуннаго шкива, радіусъ котораго$=0,2$ м., если передаваемое усиліе $P=60$ klg.

11. Опредѣлить потерю работы въ сек. на жесткость ремня, принимая: средняя натянутость $T_0 = 1,5P$ (§ 20), число оборотовъ ведущаго шкива n, передаточное число k, ширина ремня a, толщина его b, радіусъ ведущаго шкива r, ведомаго—R.

12. Опредѣлить потерю работы на треніе въ осяхъ шкивовъ, принимая вѣтви ремня параллельными, радіусы цапфъ ведущаго шкива $= \rho_1$, рабочаго—ρ_2 и коефф. тренія, одинаковый для обѣихъ цапфъ, равнымъ f.

13. Опредѣлить потерю работы отъ тренія и жесткости ремня при слѣдующихъ условіяхъ: радіусъ R ведущаго шкива $= 0,3$ м., рабочаго $r=0,2$ м., діаметръ ведущаго вала $d = 0,072$ м., а рабочаго $d_1 = 0,05$ м., ширина ремня 80 мм., а толщина 4 мм.

14. Работа, передаваемая открытымъ ремнемъ, равна 8 паров. лош., радіусъ малаго шкива$=0,3$ м., а число оборотовъ $n=150$ въ мин. Опредѣлить натяженіе ремня, если дуга, охватываемая имъ на маломъ шкивѣ$=0,8\pi$.

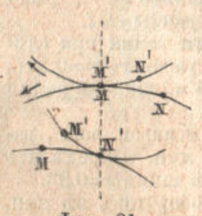
15. Главный валъ 90 сильной машины дѣлаетъ 56 оборотовъ въ мин. Маховикъ, діаметромъ въ 3,6 м., приспособленъ для канатной передачи (снабженъ желобками) и передаетъ работу 3 валамъ — одному 20, другому 30 и третьему 40 п. л. Всѣ валы дѣлаютъ 100 оборотовъ въ мин. Опредѣлить діаметръ шкивовъ, передаваемое каждому изъ нихъ усиліе и натяженія ведущихъ вѣтвей канатовъ.

ГЛАВА II.

Передача движенія непосредственнымъ прикосновеніемъ.

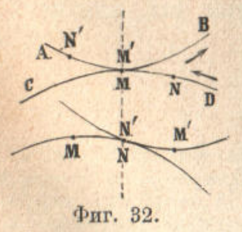
Относительное движеніе двухъ соприкасающихся кривыхъ; катаніе и скольженіе; дуга скольженія. — Трущіеся катки. — Зубчатыя колеса; ихъ подраздѣленіе и устройство.—Геометрическое условіе правильности передачи. — Кривыя, удовлетворяющія основному условію передачи. — Эпициклоидальное зацѣпленіе.—Зацѣпленіе съ плоскогранными впадинами.—Эйлерово зацѣпленіе. — Сравненіе эпициклоидальныхъ колесъ съ колесами Эйлера. — Зубчатая рейка.—Число зубцовъ на колесахъ; передаточное число.—Давленіе и треніе въ зубцахъ.—Сложныя зацѣпленія.—Паразитныя колеса.—Одометръ.—Дифференціальный винтъ.—Механизмъ для подачи сверла.—Счетчикъ Волластона.—Эпициклическія зацѣпленія.—Планетарій Уатта.—Конный приводъ Баррета.—Планетный механизмъ цилиндро-сверлильнаго станка. — Безконечный винтъ.—Винтовыя колеса Гука.—Шарниръ Гука.—Храповыя колеса.—Регулирующій механизмъ стѣнныхъ часовъ.—Задачи.

30. Относительное движеніе двухъ соприкасающихся кривыхъ; катаніе и скольженіе; дуга скольженія. Пусть AB и CD (фиг. 31) будутъ двѣ плоскія кривыя, представляющія контуры двухъ тѣлъ и соприкасающіяся въ точкѣ M.



Фиг. 31.

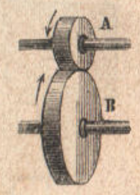
Если одно изъ тѣлъ или оба вмѣстѣ движутся такимъ образомъ, что общая точка M касанія кривыхъ AB и CD постоянно перемѣщается въ одну и ту же сторону, относительно первоначальнаго своего положенія, и проходитъ по кривымъ въ одно и то же время равныя дуги MN=M'N', то говорятъ, что тѣла *катятся* одно по другому. Если одна изъ дугъ, напр. MN равна нулю, то такое движеніе одного тѣла относительно другаго наз. *скольженіемъ*. Дуга M'N', проходимая точкою касанія M по движущемуся тѣлу, наз. *дугою скольженія.*



Фиг. 32.

Если дуги MN и M'N' не равны между собою, но лежатъ по одну сторону общей точки соприкасанія кривыхъ AB и CD, то въ этомъ случаѣ тѣла и скользили и катились одно по другому. Если, напр., дуга MN>M'N', то тѣла катились на пути M'N', равномъ меньшей дугѣ, и скользили на пути MN—M'N', равномъ разности дугъ. Наконецъ, если дуги MN и M'N' (фиг. 32) лежатъ на разныхъ сторонахъ ихъ общей точки соприкосновенія, то происходитъ только скольженіе, но дуга скольженія равна не разности, а суммѣ дугъ MN+M'N'.

31. Трущіеся катки. *Трущіеся или фрикціонные* катки употребляются для передачи вращательнаго движенія отъ одного вала къ другому, когда разстояніе между ними и передаваемое усиліе незначительны. Если *оси валовъ параллельны*, то катки имѣютъ форму цилиндровъ (фиг. 33), соприкасающихся по своей производящей. При извѣстной степени нажатія катковъ, сцѣпленіе между ихъ ободьями не дозволяетъ имъ скользить другъ по другу, такъ что при вращеніи одного катка будетъ вращаться и другой въ обратную сторону; при этомъ величина сцѣпленія должна быть по меньшей мѣрѣ равна передаваемому усилію. Такъ какъ катки перекатываются безъ скольженія, то скорости на окружностяхъ обоихъ одинаковы; поэтому, называя буквами r, r′; ω, ω′; n, n′, радіусы, угловыя скорости и числа оборотовъ катковъ, будемъ имѣть: $\omega r = r'\omega'$, откуда:



Фиг. 33.

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r} = \frac{n}{n'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

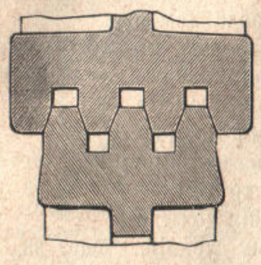
т. е. *угловыя скорости* (или числа оборотовъ) *обратно пропорціональны радіусамъ катковъ.* Такимъ образомъ, если вращеніе одного катка происходитъ равномѣрно, то и другой будетъ вращаться равномѣрно, ибо отношеніе ихъ угловыхъ скоростей постоянное.

Трущіеся катки употребляются довольно часто, преимущественно въ машинахъ, обладающихъ большими скоростями (до 1000 и болѣе оборотовъ: центробѣжные насосы, вентиляторы, молотилки, вѣялки, прядильные станки) и гдѣ, слѣд., передаваемое усиліе не велико.

Наибольшая величина передаваемаго усилія (касательнаго къ окружностямъ катковъ) опредѣлится изъ формулы: $P = fQ$, гдѣ Q есть давленіе между катками и f—коэфф. тренія. Если v есть скорость на окружностяхъ катковъ въ метрахъ въ сек., N—число паров. лош., передаваемыхъ катками, то $P = \frac{75N}{v}$, откуда найдемъ необходимое давленіе въ каткахъ $Q = \frac{75N}{fv}$. Увеличенія его достигаютъ увеличеніемъ коэфф. тренія f, для чего ободъ одного изъ катковъ снабжаютъ деревянною, кожаною или бумажною набойкою. Увеличивать же давленіе между катками невыгодно, такъ какъ оно прямо передается валамъ, вслѣдствіе чего увеличивается треніе въ цапфахъ. Величины коэфф. тренія f при сухихъ поверхностяхъ ободовъ можно принимать: для чугуна по чугуну 0,15—0,2; для бумажной массы по металлу 0,20; для кожи 0,28; для дерева по металлу 0,25—0,30.

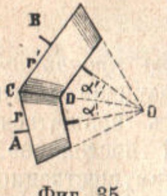
Къ фрикціоннымъ каткамъ относятся *клиновыя колеса* (фиг. 34), ободья которыхъ снабжены клинообразными кольцевыми выступами и

впадинами, входящими одни въ другіе. Это дѣлается съ цѣлью увеличить сцѣпленіе между катками, не прибѣгая къ увеличенію давленія между ободьями. Дѣйствительно, если уголъ клина есть 2α, то нажимающее усиліе Q разложится на 2 нормальныхъ давленія, равныхъ каждое $N = \frac{Q}{2\sin\alpha}$, откуда видно, что при небольшихъ углахъ заостренія выступовъ (обыкновенно 30^0) помощью незначительнаго давленія Q можно получить большое сцѣпленіе на двухъ щекахъ клинообразныхъ выступовъ. Для уменьшенія изнашиванія выступовъ число ихъ дѣлаютъ отъ 1 до 6. На передаваемое усиліе число выступовъ вліянія не имѣетъ.



Фиг 34.

32. Если *оси валовъ пересѣкаются*, то катки имѣютъ форму усѣченныхъ конусовъ, касающихся по общей производящей (OC, фиг. 35). При этомъ, если катки не скользятъ одинъ по другому, то скорость на соприкасающихся окружностяхъ будетъ одинакова; слѣд. имѣемъ: $\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r} = \frac{n}{n'}$, гдѣ r и r′ суть радіусы большихъ основаній; или, такъ какъ r′=OCsinα и r=OCsinα':

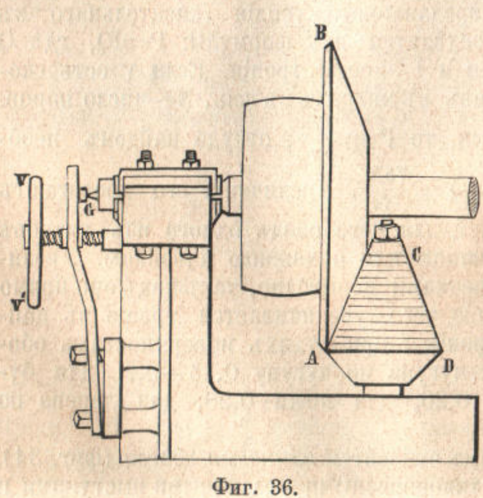


Фиг. 35.

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

т. е. *угловыя скорости обратнопропорціональны синусамъ угловъ между осями и общей производящей катковъ.*

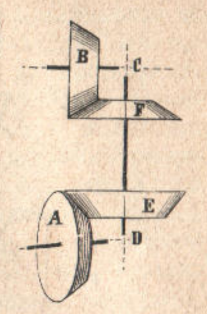
На фиг. 36 представлена обыкновенная конструкція коническихъ трущихся катковъ. AB—чугунный конусъ, насаженный на горизонтальный валъ, тщательно установленный въ подшипникахъ. ACD—малый конусъ, составленный изъ кожаныхъ кружковъ, зажатыхъ крѣпко между дисками C и AD, и обточенный на токарномъ станкѣ. Нажимъ катковъ производится помощью маховичка V, отъ



Фиг. 36.

котораго давленіе передается концу G горизонтальнаго вала при посредствѣ рычага.

33. Если оси катковъ расположены въ разныхъ плоскостяхъ, то они получаютъ форму *гиперболоидовъ вращенія* и наз. *гиперболоидальными* катками. Такіе катки впрочемъ употребляются въ практикѣ рѣдко. Для передачи вращенія въ подобныхъ случаяхъ пользуются обыкновенно сложными коническими приводами. Для этого устанавливаютъ по направленію прямой CD, пересѣкающей данныя оси (фиг. 37), вспомогательную ось съ двумя коническими катками E и F, при помощи которыхъ достигается требуемая передача.



Фиг. 37.

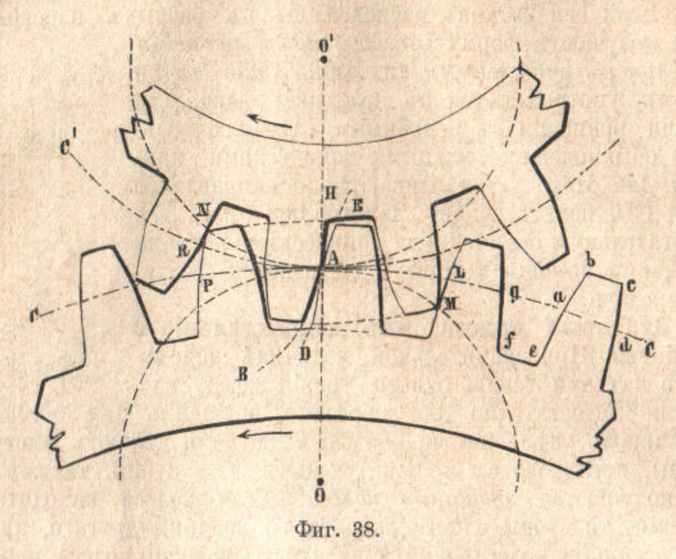
34. Зубчатыя колеса; ихъ подраздѣленіе и устройство. При значительной величинѣ передаваемаго катками усилія одного тренія между ихъ ободьями недостаточно для передачи вращенія. Для обезпеченія надлежащаго сцѣпленія на ободьяхъ катковъ дѣлаютъ выступы и впадины, послѣдовательно чередующіеся, т. е. зубцы; такимъ образомъ получаются *зубчатыя колеса*. Если колеса находятся въ сцѣпленіи, то зубцы одного входятъ во впадины другаго, причемъ зубцы *ведущаго* колеса давятъ на зубцы *рабочаго* колеса и заставляютъ его вращаться.

Зубчатыя колеса бываютъ *цилиндрическія*, *коническія*, *эллиптическія* и *гиперболоидальныя*, смотря потому, на какомъ каткѣ сдѣланы зубцы; самые катки, служащіе основаніемъ зубчатыхъ колесъ, наз. *начальными цилиндрами*, *конусами* или *гиперболоидами*. Цилиндрическія зубчатыя колеса служатъ для передачи вращательнаго движенія между параллельными осями, коническія—между пересѣкающимися, а гиперболоидальныя—между осями, расположенными въ разныхъ плоскостяхъ. Въ практикѣ къ эллиптическимъ и гиперболоидальнымъ колесамъ прибѣгаютъ рѣдко. Послѣднія замѣняютъ обыкновенно сложными коническими зацѣпленіями, или *безконечнымъ винтомъ*, если оси взаимноперпендикулярны.

35. Разсѣчемъ пару сцѣпляющихся цилиндрическихъ колесъ, плоскостью, перпендикулярною къ ихъ осямъ (фиг. 38). Поверхности начальныхъ цилиндровъ дадутъ въ сѣченіи двѣ соприкасающіяся окружности CC и C′C′, которыя наз. *начальными окружностями*. Часть abcd зубца, лежащая внѣ начальнаго цилиндра, наз. *выступомъ*; часть aefg промежутка между зубцами внутри начальнаго цилиндра, наз. *впадиною*; сумма размѣровъ выступа и впадины по направленію радіуса даетъ *высоту* зубца. Линія bae, ограничивающая сѣченіе зубца, наз. *профилью* зубца. *Толщина* ad зубца, какъ и *ширина* ag впадины, измѣряются по начальной окружности [1]);

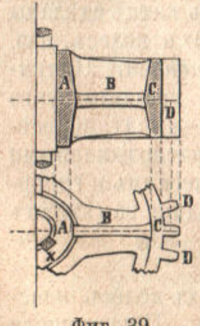
[1]) Ширина впадины всегда дѣлается нѣсколько больше толщины зубца,

сумма ихъ даетъ величину *шага зацѣпленія* dg, который измѣряется и откладывается также по дугѣ начальной окружности; на



Фиг. 38.

этомъ основаніи начальныя окружности наз. также *шаговыми* или *дѣлительными*. На обоихъ сцѣпляющихся колесахъ шагъ, конечно, одинаковъ, и долженъ заключаться цѣлое число разъ въ начальныхъ окружностяхъ колесъ. Подъ радіусами колесъ разумѣютъ радіусы начальныхъ окружностей.



Фиг. 39.

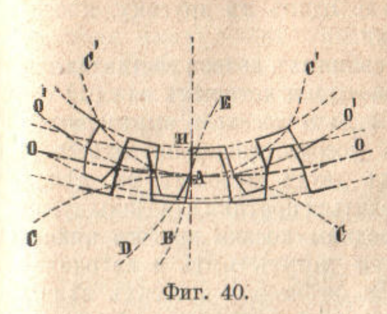
Какъ и шкивы, зубчатыя колеса состоятъ (фиг. 39) изъ *втулки* A (ступицы), *ручекъ* B (спицъ) и *обода* C, на которомъ расположены зубцы D. Втулка закрѣпляется на оси посредствомъ клина или *шпонки* x, имѣющей чаще всего квадратное сѣченіе. Спицы имѣютъ въ сѣченіи форму или крестообразную (чаще всего) или въ видѣ простого и двойного T, и рѣже овальную.

Цилиндрическія зацѣпленія раздѣляются на *внѣшнія*, въ которыхъ зубцы расположены на внѣшней сторонѣ обода (фиг. 38) и на *внутреннія* (фиг. 40), когда на одномъ колесѣ зубцы сдѣланы на внутренней сторонѣ обода. Въ первомъ случаѣ колеса вращаются въ разныя стороны; во второмъ—въ одну и ту же.

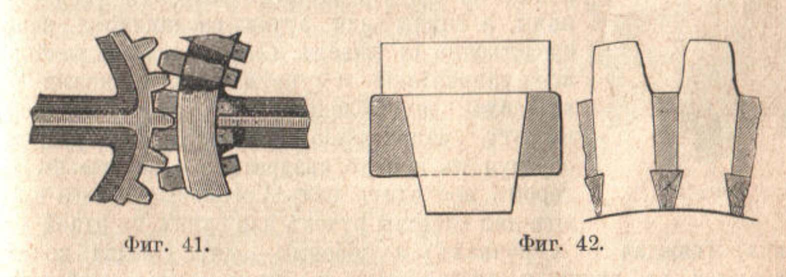
Чугунныя колеса небольшихъ діаметровъ отливаются за одно

чтобы зубцы могли свободно помѣщаться въ промежуткахъ (въ чугунныхъ колесахъ ширина впадины дѣлается отъ 1,05 до 1,1 толщины зубца).

съ зубьями; шестерни [1]) очень малыхъ діаметровъ отливаются въ видѣ сплошныхъ дисковъ, безъ спицъ; зубцы нарѣзаются на зуборѣзныхъ машинахъ. Колеса большихъ діаметровъ (отъ 8 до 9 фут.) отливаются по частямъ, такъ какъ цѣльная отливка часто, вслѣдствіе неравномѣрнаго охлажденія, даетъ трещины. Обыкновенно ободъ и ступица съ ручками отливаются порознь и затѣмъ соединяются между собою болтами, а при очень большихъ размѣрахъ колесъ самый ободъ составляется изъ отдѣльныхъ частей (*косяковъ*). При большихъ скоростяхъ весьма полезно дѣлать въ одномъ изъ сцѣпляющихся колесъ деревянные (изъ дуба, бука или граба) вставные зубья. Послѣдніе вколачиваются въ гнѣзда, сдѣланныя въ ободѣ, и закрѣпляются штифтами или клиньями, пропущенными возлѣ самаго обода сквозь хвостъ зубца или между хвостами (фиг. 41 и 42). Колеса съ деревянными зубцами отли-



Фиг. 40.


Фиг. 41. Фиг. 42.

чаются мягкимъ и плавнымъ ходомъ, сверхъ того починка такого колеса, въ случаѣ порчи зубьевъ, производится весьма просто замѣною поломанныхъ или сильно истертыхъ зубьевъ новыми.

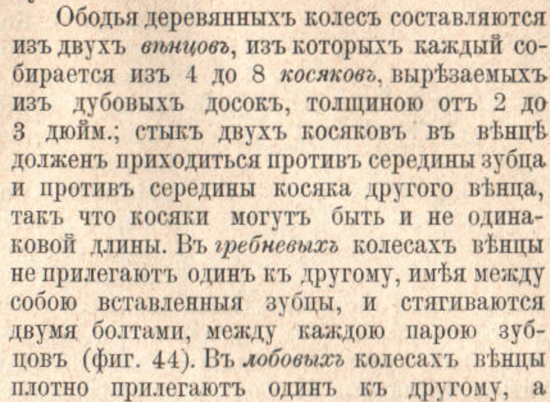
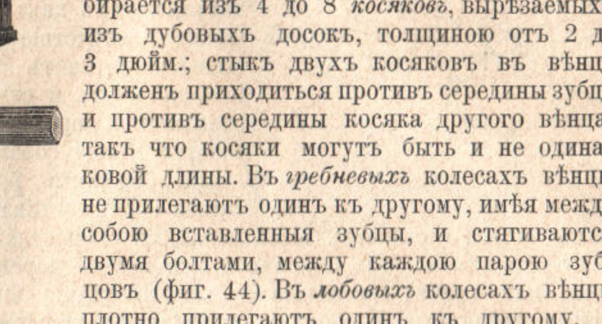
36. *Деревянныя зубчатыя колеса* подраздѣляются на *гребневыя* и *лобовыя*; въ первыхъ зубцы помѣщены на внѣшней сторонѣ обода, на продолженіи радіусовъ; во вторыхъ—на лицевой (боковой) сторонѣ [2]). Какъ тѣ, такъ и другія сцѣпляются съ деревянною же шестернею, имѣющею особую форму, показанную на фиг. 43. Зубья такой шестерни, имѣющія большею частью цилиндрическую форму, носятъ названіе *цѣвокъ*, а самая шестерня названіе *цѣвочной* или *фонарной* шестерни. Цѣвки укрѣпляются между двумя дисками или

---

[1]) Въ системѣ зубчатыхъ зацѣпленій *шестернями* наз. колеса малыхъ діаметровъ.

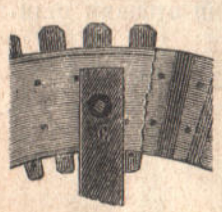
[2]) Лобовыя или *кулачныя* колеса служатъ для передачи вращенія между *взаимноперпендикулярными* осями.

шайбами, насаженными на квадратный валъ, деревянный или желѣзный параллельно одинъ къ другому, и стянутыми болтами.

Фиг. 43.

Ободья деревянныхъ колесъ составляются изъ двухъ *вѣнцовъ*, изъ которыхъ каждый собирается изъ 4 до 8 *косяковъ*, вырѣзаемыхъ изъ дубовыхъ досокъ, толщиною отъ 2 до 3 дюйм.; стыкъ двухъ косяковъ въ вѣнцѣ долженъ приходиться противъ середины зубца и противъ середины косяка другого вѣнца, такъ что косяки могутъ быть и не одинаковой длины. Въ *гребневыхъ* колесахъ вѣнцы не прилегаютъ одинъ къ другому, имѣя между собою вставленныя зубцы, и стягиваются двумя болтами, между каждою парою зубцовъ (фиг. 44). Въ *лобовыхъ* колесахъ вѣнцы плотно прилегаютъ одинъ къ другому, а гнѣзда для зубцовъ продалбливаютъ въ самихъ вѣнцахъ, съ лицевой стороны. Зубцы укрѣпляютъ шпиньками или клиньями. Въ деревянныхъ колесахъ нѣтъ ступицы, а спицы или ручки соединяются непосредственно съ валомъ. *Спицы* имѣютъ радіальное направленіе и укрѣпляются концами въ гнѣздахъ, выдолбленныхъ въ валѣ, а *ручки* имѣютъ направленіе, параллельное радіусу, образуя въ центрѣ квадратное отверстіе, въ которомъ проходитъ валъ. Гребневыя колеса имѣютъ двѣ системы ручекъ или спицъ, по одной для вѣнца, (каждая о 4 ручкахъ) а лобовыя—одну. Ободья колесъ врубаются въ ручки и стягиваются съ ними плотно желѣзными болтами.

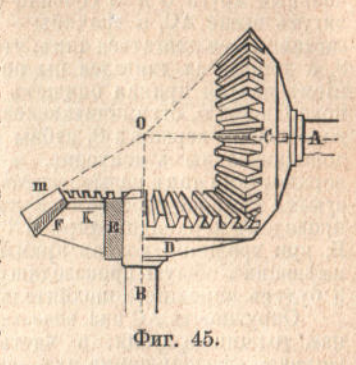


Фиг. 44.

Хотя вообще отъ деревянныхъ колесъ, особенно если они подвержены атмосфернымъ вліяніямъ, никогда нельзя ожидать совершенно правильнаго зацѣпленія, потому что зубья легко разбухаютъ или ссыхаются, однако при извѣстныхъ условіяхъ, а именно, гдѣ требуется главнымъ образомъ дешевизна привода (какъ, напр., въ сельскомъ хозяйствѣ при устройствѣ вѣтряныхъ мельницъ, конныхъ приводовъ и т. п.), тамъ деревянныя колеса очень полезны и предпочитаются чугуннымъ.

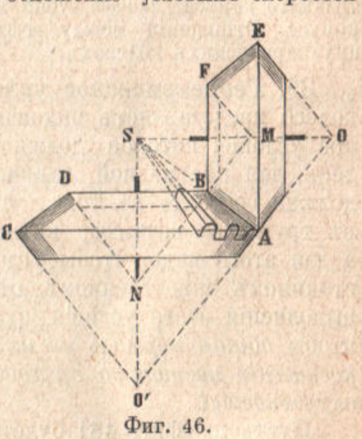
37. Коническія колеса употребляются для передачи вращенія между двумя пересѣкающимися осями, чаще всего взаимноперпендикулярными. На фиг. 45 представлено коническое зацѣпленіе частью въ боковомъ видѣ, частью въ діаметральномъ разрѣзѣ. A и B суть двѣ взаимноперепендикулярныя оси, на которыхъ заклинены коническія колеса C и D. Подобно цилиндрическому, всякое коническое

колесо состоитъ изъ втулки E и обода F, который здѣсь имѣетъ коническую форму. Втулка и ободъ соединены между собою ручками K, имѣющими T-образное сѣченіе; наконецъ зубцы m имѣютъ также коническую форму и усѣчены по концамъ коническими же поверхностями.



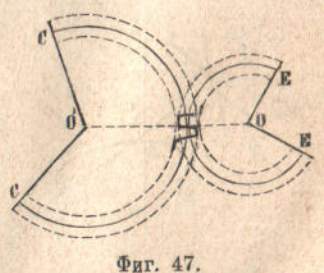
Фиг. 45.

38. Чтобы выяснить геометрическое очертаніе зубцовъ коническихъ колесъ представимъсебѣ два начальныхъ коническихъ катка, т. е. такіе два касательные коническіе отрѣзка ABCD и ABEF (фиг. 46). которые удовлетворяютъ слѣдующимъ условіямъ: 1) общая ихъ вершина есть точка S, гдѣ пересѣкаются оси SO и SO′ колесъ; 2) оси ихъ суть оси колесъ и 3) отношеніе радіусовъ ихъ основаній равно обратному отношенію угловыхъ скоростей колесъ. Проведемъ перпендикуляръ OO′ къ общей производящей конусовъ AB. При вращеніи начальныхъ конусовъ, прямыя OA и O′A опишутъ коническія поверхности OAE и O′AC, имѣющія общую производящую OO′ и вершины въ точкахъ O и O′. Эти конусы наз. *задними дополнительными конусами* колесъ. Они имѣютъ основанія, общія съ начальными конусами, и касаются между собою въ точкѣ A. Замѣтимъ, что всегда длина пути, на протяженіи котораго два зубца идутъ, сцѣпившись одинъ съ другимъ, составляетъ незначительную часть полной окружности колеса, поэтому соотвѣтствующія части дополнительныхъ конусовъ OAE и O′AC можно приблизительно принять за плоскости, совпадающія съ касательною плоскостью, перпендикулярною къ чертежу и проведенною черезъ OO′.



Фиг. 46.

Другими словами, мы принимаемъ, что при вращеніи колесъ движеніе дополнительныхъ конусовъ происходитъ такъже, какъ если бы поверхности ихъ были развернуты на плоскость OAO′, т. е. какъ если бы это были цилиндрическія колеса, радіусы начальныхъ круговъ которыхъ суть OA и O′A. Развернемъ теперь поверхности заднихъ дополнительныхъ конусовъ въ плоскость: получимъ круговые секторы O′C и OE (фиг 47), радіусы которыхъ равны OA и O′A, а длины дугъ равны окружностямъ основаній начальныхъ конусовъ (на чертежѣ уменьшены). Раздѣлимъ затѣмъ дуги CC и EE на столько частей, сколько зубцовъ на колесахъ и вычертимъ эти зубцы какъ для двухъ цилиндрическихъ колесъ (§ 40), имѣющихъ CC и EE начальными кругами. Затѣмъ навернемъ секторы съ вычерченными профилями снова



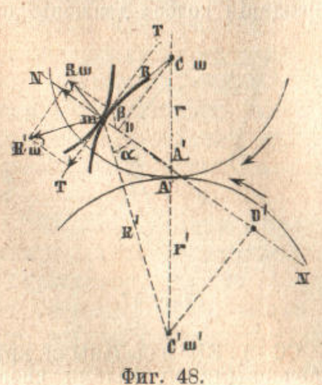
Фиг. 47.

на соотвѣтственные дополнительные конусы такимъ образомъ, чтобы начальные круги C и E совпали съ AC и AE. При этомъ выступы зубцовъ лягутъ выше AC, а впадины — ниже. Если теперь возьмемъ прямую AS и заставимъ ее двигаться такъ, чтобы она постоянно проходила черезъ точку S, а конецъ ея двигался бы по начерченнымъ зубцамъ, то своимъ движеніемъ взятая прямая опишетъ коническую поверхность, которая и будетъ поверхностью, ограничивающею зубья колесъ съ боковъ. Со стороны, противоположной вершинѣ S, зубцы будутъ ограничены поверхностями заднихъ дополнительныхъ конусовъ, а со стороны вершины S ихъ усѣкаютъ поверхностями такъ называ. *переднихъ дополнительныхъ конусовъ*, которые образуются тѣмъ же способомъ какъ и задніе дополнительные конусы. Именно. проведемъ перпендикуляръ MN къ общей производящей конусовъ въ точкѣ B; при вращеніи колесъ прямыя MB и NB опишутъ поверхности конусовъ, имѣющихъ общую производящую MN и вершины въ точкахъ M и N; это и будутъ передніе дополнительные конусы.

Окружность AC наз. *начальною окружностью;* часть ея, занятая зубцомъ, наз. толщиною зубца; а часть, занятая промежуткомъ между зубцами, *шириною впадины;* сумма ихъ—*шагомъ зацѣпленія.* Высота выступа и глубина впадины считаются въ коническихъ колесахъ по производящей дополнительнаго конуса. *Длиною* зубца наз. часть AB производящей начальнаго конуса. Отношенія между всѣми этими размѣрами такія же, какъ и въ цилиндрическихъ колесахъ.

39. Геометрическое условіе правильности передачи. Каждое колесо представляетъ видоизмѣненный катокъ; слѣдовательно. главное условіе, которое должно быть выполнено при устройствѣ колесъ, для правильной, плавной и непрерывной передачи вращенія, должно состоять въ томъ, чтобы ихъ начальныя окружности, какъ въ трущихся каткахъ, катились другъ по другу безъ скольженія; а для этого надо, чтобы угловыя скорости ихъ находились въ постоянномъ опредѣленномъ отношеніи (§ 31). Докажемъ, что для выполненія этого условія зубья должны имѣть такое очертаніе, чтобы *общая нормаль къ ихъ профилямъ въ точкахъ ихъ соприкосновенія постоянно проходила черезъ точку касанія начальныхъ окружностей*.

Пусть m (фиг. 48) будетъ точка касанія профилей двухъ сцѣпляющихся зубцовъ на колесахъ C и C′ и предположимъ что эти кривыя удовлетворяютъ условію постоянства отношенія $\frac{\omega}{\omega'} = \frac{CA'}{CA}$. Соединимъ точку m съ центрами C и C′ колесъ и назовемъ длину mC буквою R, a mC′ буквою R′. Разсматривая точку m какъ точку нижняго зубца, найдемъ, что скорость ея, перпендикулярная къ m C′, равна R′ ω′. Если же разсматривать ее какъ точку верхняго зубца, то скорость ея, перпендикулярная къ mC, будетъ равна Rω. Проведемъ къ зубцамъ общую каса-



Фиг. 48.

тельную и нормаль, при чемъ положимъ, что нормаль пересѣкаетъ линію центровъ не въ A, а въ A'. Разложимъ каждую скорость по касательной и по нормали къ обоимъ зубцамъ. Нормальныя составляющія скоростей должны быть равны, иначе зубцы отдѣлились бы, или же одинъ зубецъ врѣзался бы въ другой; касательныя же скорости могутъ быть и не равны. Поэтому имѣемъ: $R'\omega'\operatorname{Sin}\alpha = R\omega\operatorname{Sin}\beta$. Опустивъ изъ центровъ колесъ перпендикуляры CD, C'D' на нормаль, будемъ имѣть $CD = R\operatorname{Sin}\beta$ и $C'D' = R\operatorname{Sin}\alpha$, а потому $CD\omega = C'D'\omega'$ или $CD : C'D' = \omega' : \omega$. Далѣе изъ подобія $\triangle$-овъ CDA' и C'D'A' имѣемъ: $CD : C'A' = CA' : C'A'$; слѣдовательно:

$$\frac{CA'}{C'A'} = \frac{\omega}{\omega};$$

но, по условію, $\frac{CA}{C'A} = \frac{\omega'}{\omega}$, а потому должно быть: $\frac{CA'}{C'A'} = \frac{CA}{C'A}$, т. е. точка A должна совпадать съ A'. И такъ, общая нормаль къ профилямъ зубцовъ должна постоянно проходить *черезъ точку касанія начальныхъ окружностей*.

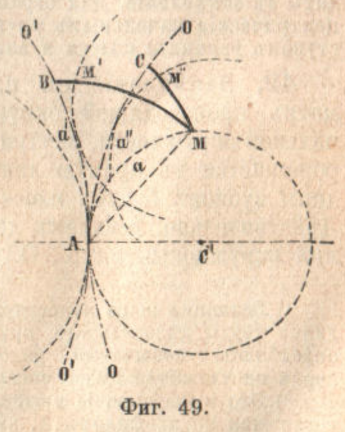
40. Кривыя, удовлетворящія основному условію передачи. Наиболѣе употребительные въ практикѣ профили зубцовъ:

1) *эпициклойды* для выступовъ и *гипоциклойды* для впадинъ (циклойда и прямая линія представляются частными случаями предыдущихъ кривыхъ);

2) *развертки круговъ* для выступовъ и впадинъ.

Докажемъ, что профили зубцовъ, очерченные по этимъ кривымъ, удовлетворяютъ условію правильной передачи.

41. Эпициклоидальное зацѣпленіе. Пусть O'O и O'O' (фиг. 49) будутъ начальныя окружности колесъ. Возьмемъ третью *вспомогательную* окружность AC', имѣющую общую точку касанія A съ шаговыми кругами и замѣтимъ на ней какую либо точку M. Затѣмъ покатимъ вспомогательную окружность безъ скольженія по окружности O'O'; при этомъ движеніи точка M опишетъ *эпициклойду* MB. Послѣ того покатимъ вспомогательную окружность внутри окружности OO: точка M опишетъ *гипоциклойду* MC. Примемъ кривую MB за очертаніе выступа зубца на колесѣ O'O', а кривую MC за очертаніе впадины зубца на колесѣ OO. Въ положеніи, представленномъ на чертежѣ, зубцы касаются въ точкѣ M. Въ этой точкѣ элементы обѣихъ кривыхъ сливаются съ безконечно малою дугою, которую стремится



Фиг. 49.

описать въ первый моментъ точка M около мгновеннаго центра A. Слѣдовательно, радіусъ AM есть общая нормаль къ кривымъ MB и MC, а такъ какъ эта нормаль проходитъ черезъ точку A соприкасанія начальныхъ окружностей, то кривыя эти удовлетворяютъ основному условію передачи, ибо сказанное справедливо для всякаго положенія вспомогательной окружности.

На фиг. 38 CC и C'C' суть начальныя окружности колесъ, OAM и O'AN—вспомогательныя. *Профиль выступа зубцовъ колеса* C' есть часть эпициклоиды AB, а *профиль впадинъ*—часть гипоциклоиды AH. Для колеса C профилью выступовъ служитъ часть эпиц. AE, а профилью впадинъ часть гипоциклоиды AD. При составленіи чертежа цилиндрическихъ зубчатыхъ колесъ отъ точки A наносятъ по начальнымъ окружностямъ [1]) шаги зацѣпленія и при точкахъ дѣленія вычерчиваютъ профили, тождественные и одинаково расположенные съ тѣми, которые вычерчены при точкѣ A [2]). Чтобы передача вращенія могла совершаться въ обѣ стороны, зубцамъ должно дать очертаніе, симметричное относительно его средней линіи. Для этого откладываютъ по начальнымъ окружностямъ, начиная отъ точки A, на колесѣ C вправо, а на колесѣ C влѣво, при каждой точкѣ шаговаго дѣленія, толщину зубцовъ, и при новыхъ точкахъ дѣленія вычерчиваютъ тѣже профили, но только въ обратномъ порядкѣ. Выступы и впадины зубцовъ ограничиваютъ по дугамъ круговъ, концентрическихъ съ начальными окружностями. При выборѣ радіусовъ этихъ концентрическихъ окружностей руководствуются тѣмъ соображеніемъ, чтобы *постоянно были въ зацѣпленіи двѣ пары зубцовъ*; при этомъ давленіе въ зубцахъ распредѣлится на двѣ пары зубцовъ, а не на одну, уменьшится ихъ толщина и увеличится число [3]).

По вспомогательнымъ окружностямъ, начиная отъ точки A, откладываютъ длины AM и AN, равныя шагу, и затѣмъ изъ центровъ начальныхъ круговъ описываютъ окружности, проходящія черезъ точки N и M; эти окружности ограничатъ выступы зубцовъ. Предыдущее условіе будетъ соблюдено, ибо каждая пара зубцовъ выходитъ изъ зацѣпленія, когда слѣдующая приходитъ на линію центровъ, а слѣдующая за этою пара входитъ въ зацѣпленіе. Для ограниченія впадинъ проводятъ окружности, концентрическія начальнымъ кругамъ, оставляя небольшой зазоръ между выступомъ верхняго колеса и впадиною нижняго.

42. Зацѣпленіе съ плоскогранными впадинами. Если діаметръ производящей окружности будетъ равенъ радіусу той начальной окружности, внутри которой онъ катится, то гипоциклоида обращается въ прямую линію, идущую по радіусу, а, слѣд., впадины зубцовъ будутъ плоскогранныя, направленныя по радіусамъ. Дѣйствительно, возьмемъ два какихъ либо положенія вспомогательной окружности, напр., OA и OB (фиг. 50). Пусть M будетъ про-

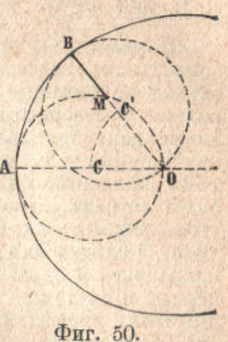
---

[1]) Величина шага наносится посредствомъ циркуля, въ который берется длина хорды дѣлительнаго круга, соотвѣтствующая шагу. Величина хорды опредѣляется попытками, рядомъ послѣдовательныхъ откладываній, пока хорда не уложится цѣлое число разъ на окружности.

[2]) Это вычерчиваніе профилей производится по *шаблонамъ*, которые изготовляются по профилямъ A, вычерченнымъ со всею точностью.

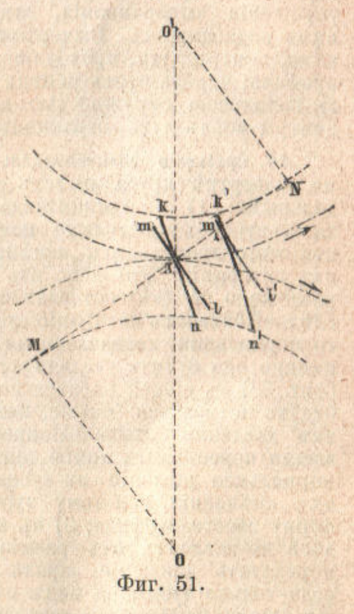
[3]) Увеличеніе числа зубцовъ на колесахъ вообще весьма выгодно, ибо съ увеличеніемъ его уменьшается работа тренія, при равныхъ прочихъ обстоятельствахъ (§ 46).

изводящая точка. Дуги AB и AM равны между собою, но такъ какъ радіусъ первой вдвое больше радіуса дуги AM, то число градусовъ, соотвѣтствующее первой, вдвое меньше числа градусовъ дуги AM. Но уголъ при центрѣ AOB, измѣряется дугою AB, а уголъ при окружности AOM измѣряется половиною дуги AM; слѣд., оба эти угла AOB и AOM равны между собою, а потому прямыя OM и OB совпадаютъ. Такъ какъ моментъ былъ выбранъ нами произвольно, то заключаемъ, что въ теченіе всеговремени перемѣщенія вспомогательной окружности до точки B производящая точка M будетъ оставаться на радіусѣ OB и, слѣд., гипоциклойда MB обратится въ прямую.



Фиг. 50.

43. Зацѣпленіе по разверткѣ круга (колеса Эйлера). Проведемъ черезъ точку A (фиг. 51) какую либо прямую MN и, опустивъ изъ центровъ O, O′ на эту линію перпендикуляры OM и ON′, опишемъ радіусами OM и O′N двѣ вспомогательныя окружности. Затѣмъ покатимъ линію AM по вспомогательной окружности OM, а линію AN по вспомогательной окружности O′N. Въ первомъ случаѣ точка A опишетъ развертку mAn, во второмъ развертку kAl. Примемъ эти кривыя за очертанія профилей зубцовъ (для выступовъ и впадинъ одна и та же кривая). Обѣ эти кривыя сливаются при точкѣ A съ дугами круговъ, описанныхъ около мгновенныхъ центровъ M и N, слѣд., линія MN будетъ общею нормалью къ обѣимъ разверткамъ въ точкѣ ихъ соприкасанія A. Положимъ теперь, что колеса повернулись, на нѣкоторый уголъ и зубья заняли положенія m_1n' и $k'l'$, и пусть m_1 будетъ ихъ общая точка соприкасанія въ этомъ новомъ положеніи. Въ точкѣ касанія обѣ кривыя имѣютъ общую касательную и общую нормаль; но нормали къ каждой изъ развертокъ должны быть касательны къ окружностямъ OM и O′N, на которыхъ находятся мгновенные центры вращенія касательныхъ AM и AN, производящихъ развертки; слѣд., общая нормаль къ разверткамъ при всякомъ положеніи сцѣпляющихся зубцовъ должна быть касательна къ направляющимъ окружностямъ OM и O′N, а потому она постоянно совпадаетъ съ линіею



Фиг. 51.

MN. Такимъ образомъ, разсматриваемыя профилибудутъ удовлетворять основному условію правильности передачи.

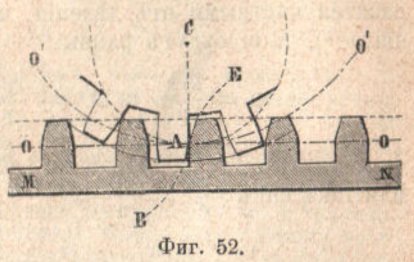
Порядокъ вычерчиванія Эйлерова зацѣпленія тотъ же, что и при циклоидальномъ зацѣпленіи. Проведя начальныя окружности, опредѣляютъ затѣмъ направленіе прямой, производящей развертку, а вмѣстѣ съ тѣмъ и радіусы развертываемыхъ круговъ. Отъ угла наклоненія этой прямой къ линіи центровъ зависитъ форма зубцовъ. Чѣмъ острѣе будетъ уголъ ея наклоненія, т. е. чѣмъ меньше будетъ радіусъ развертываемаго круга, тѣмъ наклоннѣе будетъ къ нему развертка, и, слѣдовательно, тѣмъ острѣе будетъ зубецъ, ею очерченный. Въ практикѣ дѣлаютъ, обыкновенно, этотъ уголъ равнымъ или болѣе 75°. Окружности, ограничивающія выступы, находятся слѣдующимъ образомъ, при условіи, чтобы въ зацѣпленіи постоянно находились 2 пары зубцовъ: чертятъ профили зубцовъ въ разстояніи шага передъ и за линіей центровъ и затѣмъ проводятъ черезъ точки пересѣченія этихъ профилей съ производящею прямою MN (фиг. 51) концентрическія окружности; впадины ограничиваются совершенно также, какъ и въ эпициклоидальномъ зацѣпленіи.

Примѣчаніе. Такъ какъ части эпициклоидъ, гипоциклоидъ и развертокъ, образующія профиль зубцовъ, вообще весьма коротки, то въ практикѣ. для упрощенія вычерчиванія, замѣняютъ ихъ дугами круговъ, наиболѣе къ нимъ подходящихъ. Вычертивши точный профиль, подыскиваютъ, попытками, центръ дуги, проходящей по возможности черезъ всѣ точки точнаго профиля; черезъ этотъ центръ проводятъ окружность, концентрическую съ начальною окружностью колеса. На этой окружности будутъ лежать центры всѣхъ дугъ, ограничивающихъ всѣ другіе зубцы.

44. Сравненіе эпициклоидальныхъ колесъ съ колесами Эйлера. Зацѣпленіе по разверткѣ круга имѣетъ слѣдующія преимущества передъ эпициклоидальными: 1) въ эпициклоидальныхъ зубцахъ, общая нормаль къ профилямъ зубцовъ постоянно измѣняетъ свой наклонъ къ линіи центровъ, а отъ этого происходитъ измѣненіе давленія въ зубцахъ и неравномѣрное ихъ истираніе. Это ясно изъ того, что давленіе въ зубцахъ можетъ быть разложено на двѣ составляющія: по касательной и по нормали; отъ послѣдней зависитъ истираніе зубцовъ. Если направленіе нормали колеблется. то нормальная составляющая непостоянна по величинѣ и направленію, именно она будетъ увеличиваться по мѣрѣ возрастанія угла нормали AN (фиг. 38) къ общей касательной начальныхъ окружностей. Края зубцовъ будутъ истираться больше, нежели ихъ среднія части, такъ какъ на краяхъ давленіе больше. Напротивъ, въ колесахъ Эйлера общая нормаль всегда пересѣкаетъ линію центровъ подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, слѣд., нормальное давленіе въ зубцахъ остается безъ перемѣны во все время ихъ сцѣпленія, а потому зубцы истираются равномѣрно и сохраняютъ форму своего профиля; 2) въ колесахъ Эйлера форма зубца на одномъ колесѣ не зависитъ отъ размѣровъ другаго, а потому одно колесо можетъ передавать движеніе заразъ нѣсколькимъ колесамъ разныхъ діаметровъ, если только зубцы на нихъ очерчены по разверткамъ съ однимъ и тѣмъ же угломъ наклона производящей линіи къ линіи центровъ и если шаги ихъ одинаковы. Колеса съ плоскогранными впадинами не обладаютъ этимъ свойствомъ. Для поясненія сказаннаго, положимъ, что нужно сцѣпить три такія колеса разныхъ діаметровъ. Для 1-го и 2-го колесъ получимъ извѣстнымъ способомъ для выступовъ эпициклойды, а для впадинъ радіальныя прямыя. Чтобы получить впадины на 3-мъ колесѣ нельзя, какъ это мы дѣлали, покатить по 1-му и 3-му колесамъ кругъ съ радіусомъ, вдвое меньшимъ радіуса 3-го колеса, ибо при этомъ для выступа 1-го колеса получили бы двѣ различныя эпициклойды: одну отъ 2-го и другую отъ 3-го колеса, что, конечно, невозможно. Для избѣжанія этого, очевидно, произ-

водящій кругъ для 3-го колеса долженъ быть равенъ вспомогательной окружности 2-го колеса; но тогда зубцы 3-го колеса будутъ имѣть не плоскогранныя, а гипоциклоидальныя впадины, и, слѣд., не будетъ однообразія въ формахъ зубцовъ на всѣхъ трехъ колесахъ. 3) Въ эпициклоидальныхъ колесахъ всякое измѣненіе разстоянія центровъ колесъ, которое можетъ легко произойти отъ истиранія или дрожанія вкладышей подшипниковъ, нарушаетъ правильность зацѣпленія, ибо тогда выступъ зубца одного колеса будетъ прикасаться не ко впадинѣ, а къ выступу зубца другаго колеса, т. е. эпициклоида будетъ соприкасаться съ эпициклоидой, а не съ гипоциклоидою, какъ бы слѣдовало. Вслѣдствіе этого нарушается не только равномѣрный ходъ, но легко можетъ произойти поломка или защемленіе одного изъ зубьевъ. У колесъ же Эйлера въ этомъ случаѣ все таки развертка будетъ соприкасаться съ разверткою и, слѣд., правильность зацѣпленія колесъ не нарушится.

45. Зубчатая рейка. *Зубчатою рейкою* наз. чугунная полоса NN (фиг. 52), снабженная зубцами. Рейка сцѣпляется съ зубчатымъ колесомъ и служитъ для преобразованія вращательнаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное непрерывное. Когда колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то рейка продвинется на длину начальной окружности колеса. Это зацѣпленіе можно разсматривать какъ частный случай зацѣпленія цилиндрическихъ колесъ, предполагая радіусъ начальной окружности одного изъ колесъ безконечно большимъ; тогда окружность его обращается въ прямую линію OO, касательную къ начальной окружности другаго колеса. Эта прямая наз. *начальною линіею* рейки. Размѣры выступа и впадины, какъ рейки, такъ и колеса, съ нею сцѣпленнаго, величина промежутковъ и пр. опредѣляются совершенно такъ же, какъ и въ цилиндрическихъ колесахъ. Скорость v поступательнаго движенія рейки равна скорости на начальной окружности колеса; поэтому, называя буквою r радіусъ колеса и буквою ω угловую скорость его, будемъ имѣть: $v = \omega r$, откуда $\frac{v}{\omega} = r = \text{Const}$.



Фиг. 52.

Очертаніе зубцовъ при этомъ зацѣпленіи находится по правиламъ изложеннымъ для цилиндрическихъ колесъ, полагая радіусъ одного изъ колесъ равнымъ безконечности. Чтобы получить эпициклоидальное зацѣпленіе съ плоскогранными впадинами должно покатить вспомогательную окружность C, діаметръ которой равенъ радіусу начальной окружности O'O', внутри этой окружности и по прямой OO; въ первомъ случаѣ получимъ для впадины колеса OO прямую AC, а во второмъ, для выступа рейки, *циклоиду* AE. Діаметръ второй вспомогательной окружности, равный радіусу рейки, будетъ безконечно великъ, т. е. эта окружность обратится въ прямую линію, совпадающую съ начальною линіею OO рейки. Перекатывая ее по окружности O'O', получимъ для выступа колеса *развертку* AB; профили же впадинъ рейки будутъ прямыя, перпендикулярныя къ линіи OO. Способъ очертанія по разверткамъ можетъ быть также примѣ-

ненъ и къ зубчатой полосѣ, но при этомъ, какъ легко видѣть, развертка круга OM (фиг. 51), радіусъ котораго безконечно великъ, обратится въ прямую, перпендикулярную къ MN, и, слѣдовательно, профили зубцовъ рейки будутъ прямолинейные: зубцы эти будутъ имѣть форму трапеціи.

46. Число зубцовъ на колесахъ; передаточное число. Для правильности передачи вращенія зубья на обоихъ сцѣпляющихся колесахъ должны имѣть не только опредѣленное очертаніе, но должны быть разставлены въ совершено ровномъ разстояніи одинъ отъ другаго, т. е. *величина шага зацѣпленія должна быть одинакова въ обоихъ сцѣпляющихся колесахъ.* Величина шага p опредѣляется по условію прочнаго сопротивленія зубца изгибу, производимому давленіемъ въ зубцахъ.

Если извѣстны радіусы r и r' колесъ, то по данной величинѣ шага p можно опредѣлить числа m и m' зубцовъ на колесахъ; они выразятся частными отъ дѣленія начальныхъ окружностей на длину шага [1]), т. е. будутъ равны:

$$m = \frac{2\pi r}{p} \text{ и } m' = \frac{2\pi r}{p}, \text{ откуда } \frac{m}{m'} = \frac{r}{r'},$$

т. е. *отношеніе чиселъ зубцовъ равно отношенію радіусовъ колесъ;* или такъ какъ $\frac{r}{r'} = \frac{n'}{n} = \frac{\omega'}{\omega}$, то:

$$\frac{m}{m'} = \frac{n'}{n} = \frac{r}{r'} = k. \quad . \quad . \quad . \quad (9).$$

Отношеніе числа оборотовъ шестерни (n') къ числу оборотовъ колеса (n) какъ и въ ременнойпередачѣ, носитъ названіе *передаточнаго числа*; мы будемъ обозначать его по прежнему буквою k. Какъ видно изъ послѣднихъ равенствъ, передаточное число равно отношенію числа зубцовъ на большемъ колесѣ къ числу зубцовъ на шестернѣ.

Радіусы колесъ опредѣляются, *при данномъ разстояніи d* между осями колесъ, по формуламъ:

$$r' = \frac{d}{1+k}, \; r = kr'.$$

Если же разстояніе d не дано, то для опредѣленія радіусовъ колесъ (зад. 18) должно быть назначено число зубцовъ на шестернѣ. Въ эпициклоидальномъ зацѣпленіи (фиг. 38) число зубцовъ на шестернѣ не должно быть менѣе 12. На самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что для того чтобы давленіе на концѣ зубца, направленное по AN, не сдѣлалось слишкомъ значительнымъ, уголъ, образуемый нормалью AN съ линіей центровъ, долженъ быть болѣе 60^0. Для этой предѣльной величины угла, дуга AN, равная

[1]) Если это частное есть дробь, то должно взять ближайшее къ нему большее или меньшее цѣлое число.

шагу (§ 40), будетъ заключаться 6 разъ въ вспомогательной окружности; но начальная окружность шестерни будетъ содержать 12 шаговъ; слѣдовательно, наименьшее число зубцовъ на шестернѣ равно 12. Точно также опытъ показалъ, что наименьшее число цѣвокъ на фонарной шестернѣ равно 6. Въ Эйлеровомъ зацѣпленіи уголъ наклоненія производящей линіи MN (фиг. 51) долженъ быть болѣе 75°. При этой предѣльной величинѣ угла, каждому шагу на начальной окружности шестерни будетъ соотвѣтствовать уголъ при центрѣ въ 15°; слѣдовательно наименьшее число зубцовъ на Эйлеровой шестернѣ равно 24.

Въ практикѣ, при выборѣ числа зубцовъ на шестернѣ, пользуются слѣдующею таблицею [1]).

	Передаточное число к. .	1;	2;	3;	4;	5;	6;	7;	8
Число зубцовъ m′	въ эпициклоид. зацѣпл.	33;	25;	22;	21;	19;	19;	18;	18
	» Эйлеровомъ »	33;	32;	31;	31;	31;	30;	30;	29

Выбравъ число зубцовъ m′ на шестернѣ, находятъ число зубцовъ m на большомъ колесѣ по формулѣ: $m=km'$. Замѣтимъ еще, что числа зубцовъ слѣдуетъ дѣлать взаимнопервыми, т. е. надо наблюдать, чтобы они не имѣли общаго дѣлителя; тогда каждый зубецъ одного колеса послѣдовательно приходитъ въ сцѣпленіе съ каждымъ изъ зубцовъ другаго колеса; этимъ устраняется неравномѣрное истираніе зубцовъ, что всегда должно произойти, когда одинъ и тотъ же зубецъ одного колеса постоянно сцѣпляется съ однимъ и тѣмъ же зубцомъ другаго колеса. Напр., если у одного колеса 10, а у другаго 15 зубцовъ, то оба числа дѣлятся на цѣло на 5 и, слѣд., каждый зубецъ перваго колеса будетъ сцѣпляться только съ тремя зубцами втораго, а каждый зубецъ втораго сцѣпляться только съ двумя зубцами перваго. Если же сдѣлаемъ у перваго колеса 11 зубцовъ, то каждый его зубецъ будетъ послѣдовательно сцѣпляться съ 15 зубцами втораго колеса, и, слѣд., истираніе будетъ равномѣрнѣе. Если вычисленное число зубцовъ будетъ число цѣлое, но не взаимнопервое съ числомъ зубцовъ шестерни, то его можно принять за число зубцовъ большаго колеса только въ такомъ случаѣ, когда требуется соблюдать совершенную точность въ заданномъ отношеніи чиселъ оборотовъ колесъ; въ противномъ случаѣ слѣдуетъ полученное число зубцовъ большаго колеса увеличить или уменьшить на одну единицу. Выбравши окончательно числа зубцовъ m и m′ на обоихъ колесахъ, нужно вычислить точную величину передаточнаго числа k, которое должно вводить затѣмъ въ послѣдующія вычисленія въ измѣненномъ видѣ.

Примѣръ. Положимъ, что требуется устроить зубчатую передачу между двумя паралл. валами, разстояніе, между которыми равно 1,2 м.; ведущій валъ дѣлаетъ 30 обор., а рабочій 75 обор. въ мин. ($k=2{,}5$); шагъ зацѣпленія $p=6$ сант. Разстояніе между осями надо раздѣлить на двѣ части, обратно пропорціональныя числамъ оборотовъ. Радіусъ шестерни будетъ: $r'=1{,}2.\frac{30}{105}=0{,}343$м., а $r=1{,}2-r'=0{,}857$ м. Число зубцовъ шестерни $m'=\frac{2\pi.0{,}343}{0{,}06}=35{,}9$, а $m=k.35{,}9=89{,}75$. Чтобы получить цѣлыя и взаимно-

[1]) Когда нѣтъ нужды въ особенной правильности движенія, а требуется сдѣлать значительную передачу, то можно взять число зубцовъ на шестернѣ и менѣе указанныхъ здѣсь чиселъ; но тогда въ зацѣпленіи будетъ находиться только одна пара зубцовъ.

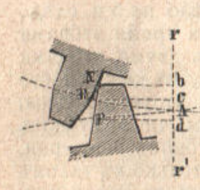
первыя числа надо измѣнить или разстояніе между валами или передаточное число. Положимъ, что можно измѣнить только передаточное число; примемъ на шестернѣ 36, а на другомъ колесѣ 89 зубцовъ. Тогда получимъ: $r' = 1{,}2 \frac{36}{125} = 0{,}3456$ м. и $r = 0{,}8544$ м.; $p = \frac{2\pi.0{,}8544}{89} = 6{,}03$ сантим., вмѣсто 6 с.

47. Давленіе и треніе въ зубцахъ. Треніе въ зубцахъ происходитъ вслѣдствіе *скольженія* одного зубца по другому. Величина этого тренія равна fP, гдѣ f есть коефф. тренія, а P—нормальное давленіе въ зубцахъ. Направленіе этого давленія хотя измѣняется съ теченіемъ времени, но вообще мало отклоняется отъ направленія общей касательной къ начальнымъ окружностямъ колесъ. Поэтому *въ дальнѣйшихъ вычисленіяхъ мы будемъ считать* это давленіе направленнымъ по *общей касательной начальныхъ круговъ.*

Пусть N будетъ число паровыхъ лош. передаваемое парою зубчатыхъ колесъ, r радіусъ шестерни, n — число ея оборотовъ въ минуту и $v = \frac{2\pi r.n}{60}$ — скорость на начальныхъ окружностяхъ колесъ; тогда $Pv = 75N$, откуда

$$P = \frac{75.60}{2\pi} \cdot \frac{N}{r.n} = 716{,}56 \frac{N}{r.n} \text{ к. } \ldots\ldots (10).$$

Путь, проходимый *треніемъ* въ зубцахъ при поворотѣ колеса на одинъ шагъ, т. е. когда два сцѣпляющіеся зубца отъ точки касанія A (фиг. 38) переходятъ къ точкѣ послѣдняго соприкасанія N, равенъ дугѣ скольженія PN—RN (§ 30), слѣд., работа тренія fP будетъ: fP (NP—RN). Вмѣсто NP и RN можно весьма приблизительно взять ихъ проекціи bd и bc на линію центровъ (фиг. 53); когда $NP - NR = Ac + Ad = \frac{Rc^2}{2r} + \frac{Pd^2}{2r'} = \frac{p^2}{2}\left\{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right\}$, гдѣ полухорды Rc и Pd, по ихъ малости, замѣнены дугами, равными шагу зацѣпленія p. Искомая работа будетъ: $T_f = fP \frac{p^2}{2}\left\{\frac{1}{r} + \frac{1}{r'}\right\}$; но $r = \frac{pm}{2\pi}$ и $r' = \frac{pm'}{2\pi}$ гдѣ r′, m и m′ суть радіусъ колеса и числа зубцовъ шестерни и этого колеса; поэтому: $T_f = fP\pi\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right)$ p. Относя силу тренія къ начальной окружности, т. е. разсматривая ее какъ приложенную въ точкѣ касанія начальныхъ окружностей, получимъ:



Фиг. 53.

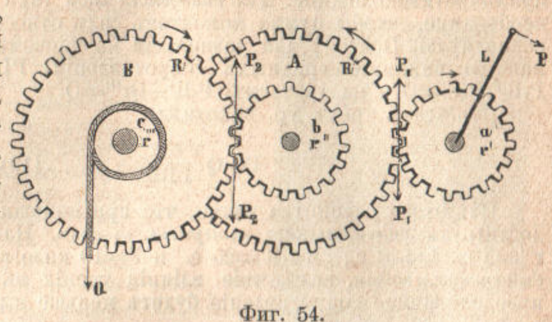
$$F = f\pi P \left\{\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right\} \ldots\ldots (11)$$

Сила, необходимая для движенія рабочаго колеса, принимая во вниманіе треніе зубцовъ, будетъ: $P' = P + F = P\left\{1 + f\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right)\pi\right\}$, т. е. въ $1 + f\pi\left(\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right)$ разъ болѣе, нежели безъ тренія. При зацѣпленіи колеса съ рейкою, $r' = \infty$, $\frac{1}{r'} = 0$, и тогда: $P' = P + F = P\left(1 + f\pi\frac{1}{m'}\right)$. Для внутренняго зацѣпленія: $F = f\pi P\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m'}\right)$.

48. Сложныя зацѣпленія. Если отношеніе чиселъ оборотовъ ведущаго и рабочаго валовъ очень велико, то устройство простаго привода представляетъ большія неудобства, ибо тогда одно изъ ко-

лесъ выйдетъ огромныхъ размѣровъ. Въ подобныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ устройству *сложныхъ зубчатыхъ приводовъ*, въ которыхъ между ведущимъ и рабочимъ валами помѣщаютъ одну или нѣсколько промежуточныхъ осей, параллельныхъ первымъ.

На фиг. 54 представленъ *сложный зубчатый приводъ съ одною промежуточною осью*, на которой заклинены колесо A и шестерня b. Ведущая шестерня a сцѣпляется съ колесомъ A., заклиненнымъ на одной оси съ шестернею b, которая сцѣпляется съ колесомъ B, насаженнымъ на послѣдней оси c. Не трудно показать, что *передаточное число равно отношенію произведенія радіусовъ колесъ къ произведенію радіусовъ шестеренъ*.



Фиг. 54.

Дѣйствительно, пусть n, n', n'' будутъ числа оборотовъ валовъ a, b, c; R, R' и r', r''—радіусы колесъ A, B и шестеренъ a, b. По предыдущему, для простаго привода a и A имѣемъ: $\frac{n}{n'} = \frac{R}{r'}$, а для привода b и B: $\frac{n'}{n''} = \frac{R'}{r''}$. Перемноживъ первыя и вторыя части этихъ равенствъ и сокративъ, получимъ:

$$\frac{n}{n''} = \frac{RR'}{r'r''} = k \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

Примѣръ. Пусть имѣетъ *сложный зубчатый приводъ съ двумя промежуточными осями*, для котораго $r' = r'' = r''' = 10$ сант., $R = 40$ с., $R' = 50$ с., $R'' = 25$ с.; тогда $\frac{\omega'''}{\omega} = \frac{40 \times 50 \times 25}{10 \times 10 \times 10} = 50$; т. е. первая шестерня будетъ вращаться въ 50 разъ быстрѣе послѣдняго колеса. Обратно, если желаютъ опредѣлить число зубцовъ каждаго колеса, при условіи, чтобы послѣднее колесо дѣлало одинъ оборотъ въ то время, какъ первая шестерня сдѣлаетъ ихъ 50, нужно разложить полное передаточное число 50 на 3 множителя, напр. $2 \times 5 \times 5$, или $10 \times 2 \times 2{,}5$ или еще $4 \times 5 \times 2{,}5$. Эти множители будутъ выражать частныя передаточныя числа для каждой послѣдовательной пары колесъ. Пользуясь первою комбинаціею и принявъ число зубцовъ на первой шестернѣ по таблицѣ § 46 равнымъ 25 и на остальныхъ по 19, получимъ для колесъ послѣдовательно слѣдующія числа зубцовъ: 50, 95, 95. При этомъ будемъ имѣть:

$$\frac{\omega'''}{\omega} = \frac{50 \times 95 \times 95}{25 \times 19 \times 19} = 50.$$

49. Найдемъ теперь *отношеніе между движущею силою* P, дѣйствующею на плечѣ L и *сопротивленіемъ* Q, дѣйствующимъ на плечѣ r'''.

Зубцы шестерни а производятъ давленіе P_1 на зубцы сцѣпляющагося съ нею колеса А. Это давленіе можно считать направленнымъ по общей касательной къ начальнымъ окружностямъ колесъ. Колесо А, въ свою очередь, оказываетъ противодѣйствіе P_1, равное, прямопротивоположное и приложенное къ шестернѣ а. Далѣе, шестерня b производитъ на зубцы колеса В давленіе P_2, встрѣчая со стороны колеса сопротивленіе P_2, равное и прямопротивоположное. *Для равновѣсія силъ* (при равномѣрномъ движеніи) необходимо, чтобы сумма моментовъ силъ относительно каждой оси была равна нулю. Поэтому для равновѣсія на первомъ валѣ имѣетъ (не принимая во вниманіе вредныхъ сопротивленій): $PL - P_1r' = 0$; на второмъ: $P_1R - P_2r'' = 0$ и на третьемъ: $P_2R' - Qr''' = 0$.

Изъ этихъ трехъ ур. находимъ:

$$P = Q\frac{r'r''r'''}{LRR'} \quad \ldots\ldots (13).$$

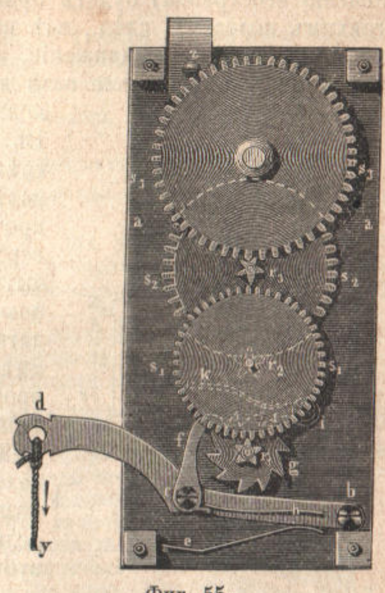
Изъ этого равенства видно, что при помощи зубчатыхъ колесъ можно достигнуть *значительнаго выигрыша въ силѣ*. Напр., если $r' = r'' = 10$ сант., $r''' = 5$ с., $L = 40$ с., $R = R' = 25$ с. и $P = 10$ килогр., то $Q = 50P = 500$ kg. Въ *дѣйствительности*, вслѣдствіе вліянія тренія въ осяхъ и зубцахъ колесъ, преодолѣваемое сопротивленіе будетъ меньше вычисленнаго.

50. Паразитныя колеса. Если на каждой промежуточной оси сложнаго зацѣпленія находится только по одному колесу, непосредственно сцѣпляющемуся съ предыдущимъ и послѣдующимъ колесами, то такія промежуточныя (одиночныя) колеса наз. *паразитными*, ибо они *не имѣютъ вліянія на передаточное число* между первымъ и послѣднимъ колесами сложнаго привода: это число будетъ тоже самое, какое было бы при непосредственномъ сцѣпленіи крайнихъ колесъ. Дѣйствительно, пусть, напр., имѣется сложное зацѣпленіе изъ t колесъ, изъ коихъ 2,3...t—1 паразитныя, и пусть числа зубцовъ ихъ будутъ послѣдовательно $m_1, m_2, \ldots m_t$ а числа оборотовъ $n_1, n_2 \ldots n_t$. По предыдущему, для первыхъ двухъ колесъ имѣемъ: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{m_2}{m_1}$; для 2-го и 3-го: $\frac{n_2}{n_3} = \frac{m_3}{m_1}$.......для t—1-го и t-го: $\frac{n_{t-1}}{n_t} = \frac{m_t}{m_-}$. Перемножая эти отношенія найдемъ передаточное число k разсматриваемаго зацѣпленія: $k = \frac{n_1}{n_t}$.

Паразитныя колеса имѣютъ вліяніе лишь на направленіе вращенія рабочаго колеса: при *нечетномъ* числѣ промежуточныхъ колесъ крайнія колеса будутъ вращаться въ одну сторону при *четномъ*— въ разныя стороны. Это обстоятельство должно принимать въ соображеніе въ случаяхъ, когда паразитныя колеса ставятся съ цѣлью произвести сцѣпленіе двухъ колесъ, сумма радіусовъ которыхъ меньше разстоянія между осями (напр., въ токарныхъ станкахъ, при установкѣ паразитныхъ колесъ въ трензелѣ, для сцѣпленія шпиндельной шестерни съ ходовымъ колесомъ при нарѣзкѣ винтовъ).

51. Одометръ. Какъ примѣръ сложнаго зацѣпленія, разсмотримъ устройство обыкновеннаго *счетчика* (фиг. 55), употребляемаго для счета числа шаговъ, оборотовъ какого либо вала и т. п. Этотъ приборъ состоитъ изъ

одноплечаго рычага bcd, получающаго качательное движенiе отъ шнурка y. Собачка f, прикрѣпленая къ рычагу, захватываетъ зубцы храповаго колеса g, причемъ при каждомъ размахѣ рычага поворачиваетъ его на одинъ зубецъ. Пружины e и h служатъ: первая для возвращенiя рычага въ первоначальное положенiе, а вторая—для нажатiя собачки къ храповому колесу. Западня i, нажимаемая къ колесу g пружиною k дѣлаетъ невозможнымъ обратное движенiе этого колеса. Отъ шестерни r_1, имѣющей 5 зубцовъ и сидящей на одной оси съ колесомъ g, которое имѣетъ 10 зубцовъ, движенiе передается колесу s_1, съ 50 зубцами; отъ шестерни r_2 тоже съ 5 зубцами—колесу s_2 съ 50 зубцами, и наконецъ отъ послѣдней шестерни r_3 колесу s_3, имѣющему подобно остальнымъ колесамъ также 50 зубцовъ. На всѣхъ 4 осяхъ посажены стрѣлки, двигающiяся по циферблатамъ, раздѣленнымъ каждый на 10 частей. Одно дѣленiе 1-го (нижняго) циферблата соотвѣтствуетъ одному размаху рычага bcd, одно дѣленiе 2-го циферблата —10 размахамъ, 3-го 100 и 4-го 1000 размахамъ рычага bcd. Дѣленiя эти снабжены соотвѣтственными цифрами. При пользованiи этимъ приборомъ какъ шагомѣромъ его подвѣшиваютъ крючкомъ z къ петлицѣ одежды, а шнуръ прикрѣпляютъ къ ногѣ, ниже колѣна. Подобнымъ же образомъ устроены счетчики водомѣровъ, газовыхъ часовъ и т. п. измѣрителей.

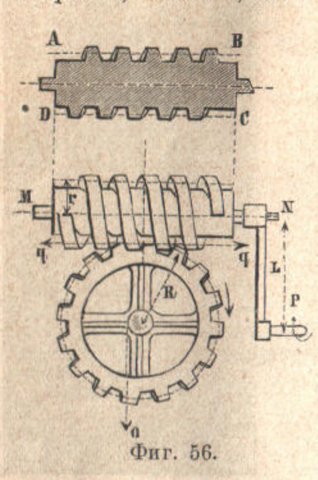


Фиг. 55.

52. Безконечный винтъ. Винтъ, зацѣпляющiйся съ зубчатымъ колесомъ, наз. *безконечнымъ винтомъ.* Механизмъ этотъ служитъ для передечи вращенiя между двумя взаимно перпендикулярными осями, не лежащими въ одной плоскости.

Въ основанiи винтоваго зацѣпленiя лежитъ зацѣпленiе зубчатой рейки съ колесомъ. Чтобы объяснить это, вообразимъ, что мы сообщили рейкѣ (фиг. 52) вращательное движенiе вокругъ оси, параллельной ея начальной линiи OO и сверхъ того равномѣрное поступательное движенiе параллельно оси вращенiя съ такою скоростью, чтобы въ теченiе одного оборота рейка продвинулась на длину ея шага. Всякая точка профиля рейки произведетъ при этомъ винтовую линiю, ходъ которой равенъ шагу рейки, а вся рейка произведетъ *безконечный винтъ.* Начальная прямая OO рейки произведетъ цилиндръ, который наз. *начальнымъ цилиндромъ* винта. Ясно, что если поставить такой винтъ на мѣсто рейки и сообщить ему вращенiе, то онъ приведетъ во вращенiе колесо, сцѣплявшееся съ рейкою, если предположить, что толщина колеса безконечно мала; при этомъ передача будетъ происходить съ постоян-

нымъ отношенiемъ угловыхъ скоростей. На самомъ дѣлѣ, всякое сѣченiе винта плоскостью, проведенною черезъ его ось, представитъ двойную рейку A B C D (фиг. 56); при вращенiи винта каждое сѣченiе его (рейка) будетъ приходить въ сцѣпленiе съ безконечно тонкимъ колесомъ, слѣд., всѣ послѣдовательныя сѣченiя сообщатъ колесу непрерывное движенiе, какъ будто бы это была безконечная рейка; понятно, что если вращенiе винта равномѣрное, то и колесо будетъ вращаться равномѣрно. Въ дѣйствительности зубчатое колесо, сцѣпляющееся съ винтомъ, должно имѣть извѣстную толщину, достаточную для прочности колеса. Ясно, что тогда поверхность зубцовъ колеса не можетъ быть произведена прямою, параллельною оси колеса. Для достиженiя полнаго сцѣпленiя зубцы колеса должны имѣть форму винтовыхъ поверхностей, производимыхъ движенiемъ профиля зубца, по винтовой линiи, соотвѣтствующей нарѣзкѣ винта, такъ чтобы зубья колеса соприкасались съ винтовою нарѣзкою съ такою же точностью, какъ если бы это была нарѣзка гайки. Такое зубчатое колесо наз. *винтовымъ колесомъ*.



Фиг. 56.

Безконечный винтъ, описанный выше, имѣетъ *одну нарѣзку*; онъ будетъ имѣть *двѣ*, *три*, *четыре*... независящихъ одна отъ другой нарѣзокъ, если въ теченiе одного оборота рейки, при образованiи винта камбинацiей вращательнаго и поступательнаго движенiй, рейка продвинется вдоль оси на длину удвоеннаго, утроеннаго, учетвереннаго... шага.

Изъ всего сказаннаго о винтовомъ зацѣпленiи слѣдуетъ, что если разрѣзать это зацѣпленiе плоскостью, проходящею черезъ ось винта и перпендикулярною къ оси колеса, то въ этомъ разрѣзѣ зубцы должны быть вычерчены какъ для случая сцѣпленiя рейки съ зубчатою шестернею (§ 45), принимая, что кругъ, полученный отъ разрѣза начальнаго катка винтоваго колеса, есть начальный кругъ шестерни и касательная къ нему прямая, полученная отъ разрѣза начальнаго цилиндра винта, есть начальная линiя рейки. Если *безконечный винтъ имѣетъ одну нарѣзку*, что бываетъ чаще всего, ходъ которой равенъ шагу колеса, то при одномъ оборотѣ винта, колесо повернется на одинъ зубецъ; поэтому, означая буквами v и v' скорости на окружности винта и колеса, ω и ω', r и R ихъ угловыя скорости, среднiй радiусъ винта и радiусъ начальной окружности колеса, и h ходъ винта, получимъ: $v : v' = \omega r : \omega' R = 2\pi r : h$, откуда:

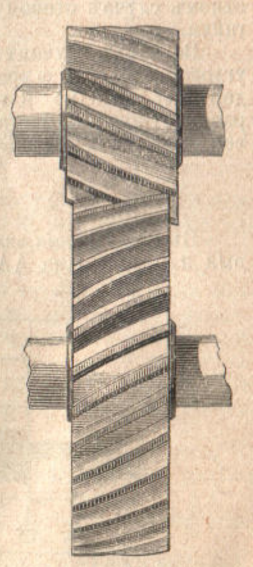
$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{2\pi R}{h} = m. \quad . \quad . (14)$$

т. е. *отношеніе угловой скорости винта къ угловой скорости колеса равно числу зубцовъ на колесѣ.*

Теорія безконечнаго винта въ связи съ треніемъ аналогична съ теоріей прямоугольнаго винта. Если назовемъ буквою α уголъ подъема винта и буквою φ уголъ тренія, то могутъ представиться слѣдующіе три случая: 1) $\alpha \leqq \varphi$; шагъ винта очень малъ: винтъ ведетъ колесо; обратная передача невозможна. 2) $\alpha \geqq 90-\varphi$; шагъ винта великъ: колесо ведетъ винтъ; обратная передача невозможна. 3) $\varphi < \alpha < 90-\varphi$; шагъ имѣетъ среднія величины; передача взаимная.

53. Винтовыя колеса (фиг. 57). Въ 1666 г. англ. уч. *Гукъ* устроилъ цилиндрическія колеса съ особаго вида зубцами, непараллельными оси, отличающіяся очень плавнымъ ходомъ при незначительной потерѣ работы на треніе въ зубцахъ.

Эти колеса можно воспроизвести изъ цилиндрическихъ колесъ слѣдующимъ образомъ. Вообразимъ, что мы разрѣзали обыкновенное цилиндрическое колесо плоскостями, перпендикулярными къ оси на n частей, которыя затѣмъ передвинули одну относительно другой на $\frac{1}{n}$ часть шага. Получимъ такъ наз. *ступенчатое колесо* [1]) Во время передачидвиж енія зацѣпленіе между парою такихъ зубцовъ будетъ совершаться ступеньками, переходя послѣдовательно отъ первой ступеньки ко второй, отъ второй къ третьей и т. д. Вслѣдствіе постепенности зацѣпленія ступенчатыя колеса работаютъ очень спокойно, почему часто употребляются въ строгальныхъ станкахъ и другихъ плавноходящихъ машинахъ.



Фиг. 57.

Вообразивъ безчисленное множество сѣченій, равномѣрно продвинутыхъ, получимъ *винтовыя колеса*, представленыя на фиг, 57. Шаги и углы наклона зубцовъ у обоихъ колесъ одинаковы, но стороны наклона противоположны. Законъ же передачи тотъ же, что и у цилиндрическихъ колесъ.

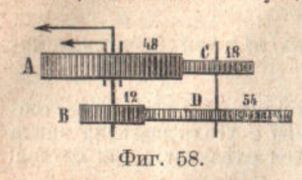
Вслѣдствіе наклоннаго положенія зубцовъ во время передачи появляется боковое усиліе на зубецъ, стремящееся развести колеса. Для устраненія вліянія этого боковаго усилія *Джаксонъ* (въ Манчестерѣ) отливаетъ колеса съ зубцами выгнутыми по серединѣ, такъ что каждое колесо представляетъ какъ бы два колеса Гука, составленныя основаніями. Подобныя колеса употребляются въ сталепрокатныхъ валкахъ.

54. Дифференціальныя движенія. При помощи сложныхъ зацѣпленій и сочетаній зубчатыхъ зацѣпленій съ винтовыми легко получаются такъ наз. *дифференціальныя движенія*. Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ подобныхъ зацѣпленій.

---

[1]) Такія колеса наз. также, по имени строителя, *колесами Уайта* (White).

На фиг. 58 представленъ *механизмъ минутной и часовой стрѣлокъ*. Колесо B, имѣющее 12 зубцовъ дѣлаетъ одинъ оборотъ въ часъ; на концѣ его оси укрѣплена минутная стрѣлка. При посредствѣ колесъ D и C, имѣющихъ 54 и 18 зубцовъ вращеніе передается колесу A, имѣющему 48 зубцовъ. Это послѣднее надѣто на втулочку, которая охватываетъ концентрически ось колеса B. Легко видѣть, что колесо A въ 12 разъ тише вращается, нежели колесо B, поэтому на его втулкѣ укрѣплена часовая стрѣлка.



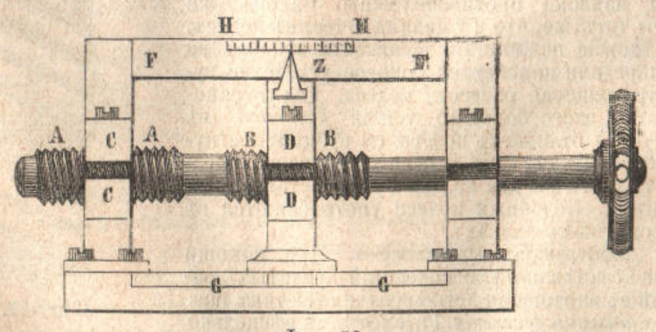
Фиг. 58.

55. Дифференціальный винтъ. Механизмъ винта и гайки встѣчается очень часто въ различныхъ станкахъ. Какъ извѣстно, при одномъ оборотѣ винта, вращающагося въ *неподвижной гайкѣ*, онъ подвигается поступательно вдоль своей оси на одинъ шагъ. При этомъ онъ или *ввинчивается* или *вывинчивается* изъ гайки. Чтобы опредѣлить, въ какую сторону будетъ передвигаться винтъ, должно обратить вниманіе на родъ его *нарѣзки* и *сторону вращенія*. Нарѣзка можетъ быть *правая* и *лѣвая*. Первая, если смотрѣть вдоль винта, поднимается *слѣва на-право*, вторая—*справа на-лѣво*. На фиг. 56 нарѣзка правая. Должно принять за правило: *если вращать винтъ съ правой нарѣзкою*, лишенный возможности двигаться поступательно, *въ подвижной гайкѣ*, по *часовой стрѣлкѣ* (слѣва на-право), *то гайка будетъ двигаться вдоль винта къ рукояткѣ или къ зубчатому колесу, вращающему винтъ. Если при этомъ гайка неподвижна, а винтъ можетъ двигаться поступательно, то онъ будетъ ввинчиваться въ гайку. При винтѣ съ лѣвою нарѣзкою произойдутъ обратныя движенія.* Имѣя въ виду это правило, не трудно опредѣлить въ каждомъ частномъ случаѣ сторону, въ которую движется поступательно винтъ или гайка.

Во всѣхъ случаяхъ отношеніе скорости v поступательнаго движенія къ угловой скорости ω вращательнаго движенія равно отношенію путей, пройденныхъ въ одно и тоже время, напр., въ теченіе одного оборота, т. е. равно отношенію шага h винта къ длинѣ окружности, радіусъ которой равенъ единицѣ: $v : \omega = h : 2\pi$, откуда

$$v = \frac{h\omega}{2\pi} \quad \ldots\ldots (15)$$

Въ *дифференціальномъ винтѣ Прони* (фиг. 59) винтъ имѣетъ двѣ правыя нарѣзки, одна AA съ шагомъ h, другая BB съ шагомъ $h' < h$. Первая



Фиг. 59.

помѣщается въ неподвижной гайкѣ C, между тѣмъ какъ вторая приводитъ въ движеніе гайку D, скользящую въ пазахъ G и F. При одномъ обо-

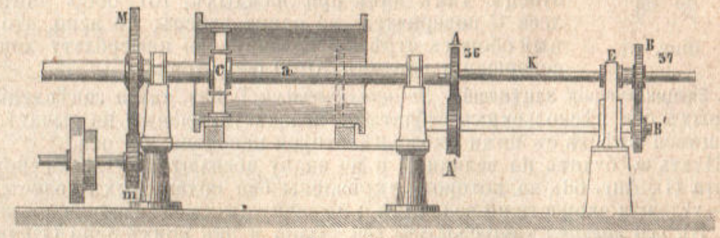
ротѣ винта этотъ послѣдній продвинется влѣво на величину h (вмѣстѣ съ гайкою D), а въ то же время гайка D продвинется *вправо* на величину шага h'. Такъ какъ $h>h'$, то при одномъ оборотѣ винта гайка D продвинется *влѣво* на величину разности шаговъ $h-h'$; слѣдовательно, для скорости поступательнаго перемѣщенія подвижной гайки получимъ выраженіе:

$$v = \frac{(h-h')\,\omega}{2\pi} \quad \ldots\ldots (16)$$

Стрѣлка Z, прикрѣпленная къ гайкѣ, указываетъ на шкалѣ величину перемѣщенія гайки D. Если, напр., эта шкала раздѣлена на миллиметры и если разность $h-h'=0{,}1$ мм., то стрѣлка при полномъ оборотѣ винта пройдетъ путь въ 0,1 мм., а при 0,1 оборота—въ 0,01 мм.

Дифференціальный винтъ употребляется во многихъ физическихъ и астрономическихъ приборахъ и инструментахъ какъ для сообщенія чрезвычайно малыхъ (*микрометренныхъ*) перемѣщеній, такъ и для измѣренія очень малыхъ предметовъ. Помощью подобнаго винта нарѣзаются (въ *дѣлительныхъ машинахъ*) масштабы съ весьма мелкими дѣленіями.

56. На фиг. 60 изображенъ *механизмъ для подачи сверла*. Цилиндръ, который требуется разсверлить, неподвиженъ, сверло же вращается и въ тоже время должно имѣть медленное поступательное движеніе (*подача*) вдоль



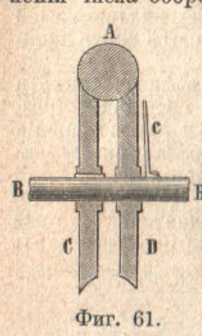
Фиг. 60.

оси цилиндра. Вращательное движеніе сверло получаетъ отъ рабочаго шкива при помощи пары цилиндрическихъ колесъ m и M, изъ коихъ послѣднее заклинено на валу a, на которомъ укрѣпленъ патронъ (*башка*) C съ рѣзцами. Правый конецъ K вала a снабженъ нарѣзкою и проходитъ черезъ гайку E, которая можетъ вращаться въ своей стойкѣ въ туже сторону, что и винтъ K. Вращательное движеніе ей сообщаетъ колесо B, укрѣпленное на гайкѣ и сцѣпляющееся съ колесомъ B', заклиненнымъ на концѣ нижняго передаточнаго вала. На этомъ же валу укрѣплено другое зубчатое колесо A', сцѣпленное съ колесомъ A, заклиненнымъ на валу a. Колесо A' можетъ скользить по длинной шпонкѣ, по мѣрѣ подвиганія колеса A вмѣстѣ съ валомъ a.

Если бы гайка E была неподвижна, то при одномъ оборотѣ вала K, сверло подалось бы (при вращеніи шкива по часовой стрѣлкѣ) справо налѣво на длину шага h винта K, но, вслѣдствіе существованія передачи AA'—B'B гайка при одномъ оборотѣ винта K повернется на часть оборота, равную $\frac{1}{k_1}\cdot\frac{1}{k_2}$, гдѣ k_1 и k_2 суть передаточныя числа зубчатыхъ паръ AA' и B'B. Такимъ образомъ, вслѣдствіе собственнаго вращенія справа—налѣво винтъ K (съ правою нарѣзкою) вывинтится изъ гайки на длину h, а вслѣдствіе вращенія гайки E (также справа—налѣво) онъ ввинтится на длину $\frac{h}{k_1 k_2}$, и, слѣдов., подача сверла при одномъ оборотѣ вала будетъ

равна $h\left(1-\frac{1}{k_1k_2}\right)$ Разность $1-\frac{1}{k_1k_2}$ можетъ быть сдѣлана, соотвѣтственнымъ выборомъ передаточныхъ колесъ, какъ угодно малою, независимо отъ размѣровъ вала a и винта K. Напр., если $h=0{,}5''$, а числа зубцовъ колесъ: A — 36, A′— 37, B′—36 и B — 36, то подача будетъ равна $\frac{1}{74}''$.

57. Счетчикъ Волластона (фиг. 61). Механизмъ этотъ служитъ для опредѣленія числа оборотовъ быстровращающихся валовъ. Винтъ A укрѣпленъ на концѣ вала, число оборотовъ котораго желаютъ опредѣлить, и ведетъ два колеса C, D, изъ коихъ первое имѣетъ 100 зубцовъ и заклинено на валу B, перпендикулярномъ къ валу винта, а второе имѣетъ 101 зубецъ и надѣто вольно на валъ B. Это послѣднее колесо снабжено циферблатомъ, передъ которымъ движется стрѣлка c, укрѣпленная на валу B. Понятно, что оба колеса вращаются въ одну сторону, причемъ циферблатъ сдѣлаетъ одинъ оборотъ при 101 оборотѣ винта, между тѣмъ какъ колесо C со стрѣлкою въ это же время успѣетъ сдѣлать полный оборотъ и еще повернуться на одинъ зубецъ. Такъ какъ при каждыхъ 101 обор. винта колеса C повернется на одинъ зубецъ, то ясно, что полный оборотъ стрѣлка сдѣлаетъ по циферблату лишь по совершеніи винтомъ 10100 оборотовъ.



Фиг. 61.

58. Эпициклическія зацѣпленія. *Эпициклическими* [1]) наз. такія зацѣпленія, въ которыхъ оси нѣсколькихъ зубчатыхъ колесъ укрѣплены на рычагѣ, вращающемся вмѣстѣ съ ними около нѣкоторой неподвижной оси.

Пусть ω_0 будетъ по величинѣ и по знаку абсолютная угловая скорость рычага (D, фиг. 63), на которомъ укрѣплены оси подвижныхъ колесъ, а ω_1 и ω_2—угловыя скорости по величинѣ и по знаку двухъ сцѣпляющихся колесъ (A и B), *оси которыхъ параллельны оси рычага* и изъ коихъ одно (B) укрѣплено на рычагѣ. Колеса эти кромѣ абсолютной угловой скорости будутъ обладать каждое нѣкоторою относительною скоростью, взятою по отношенію къ рычагу. Для опредѣленія этихъ относительныхъ скоростей мы можемъ, не измѣняя ихъ, сообщить всѣмъ тѣламъ одинаковыя движенія, напр. такое вращательное движеніе, угловая скорость которою равна и противоположна угловой скорости абсолютнаго движенія рычага. Тогда рычагъ останется въ покоѣ, а составныя движенія колесъ A, B и будутъ искомыми относительными движеніями. Именно, относительная угловая скорость колеса A, какъ извѣстно изъ теоретической механики, будетъ равна разности $\omega_2-\omega_0$, *ибо оно вращается въ одну сторону съ рычагомъ*; а относительная угловая скорость колеса B будетъ равна суммѣ $\omega_1+\omega_0$, такъ какъ оно вращается въ сторону, противоположную рычагу. Но предполагая рычагъ неподвижнымъ, мы можемъ эпициклическія зацѣпленія разсматривать какъ обыкновенныя колеса, вращающіяся съ относительными скоростями $\omega_2-\omega_0$ и $\omega_1+\omega_0$, ибо скорости на окружности колесъ равны между собою. Поэтому, по предыдущему, можетъ написать:

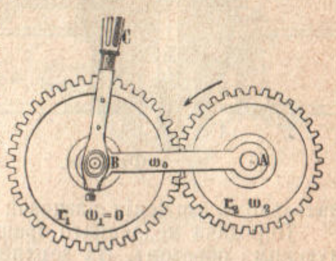
$$\frac{\omega_2-\omega_0}{\omega_1+\omega_0}=\frac{r_1}{r_2}=k \quad . \quad . \quad (a)$$

[1]) Названіе это происходитъ отъ того, что при движеніи рычага вмѣстѣ съ колесами различныя точки послѣднихъ описываютъ циклоидальныя кривыя. Изобрѣтеніе разсматриваемыхъ зацѣпленій приписывается *Грэму* (1715).

гдѣ r_1 и r_2 суть радіусы колесъ В и А, а слѣд., k есть *передаточное число*. Эта формула заключаетъ въ себѣ всю теорію эпициклическихъ зацѣпленій. При пользованіи ею должно величинамъ угловыхъ скоростей ω_2, ω_1, ω_0 . . . приписывать знакъ (+), если *вращеніе положительное* (т. е. происходитъ по часовой стрѣлкѣ) и знакъ (—) въ случаѣ *отрицательнаго вращенія* (противъ часовой стрѣлки).

Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ эпициклическихъ зацѣпленій.

59. Планетарій Уатта. Этотъ механизмъ, придуманный Уаттомъ для передачи движенія отъ балансира своей паровой машины валу маховика, состоитъ изъ двухъ колесъ А и В (фиг. 62), центры коихъ удерживаются на неизмѣнномъ разстояніи одинъ отъ другаго посредствомъ тяги АВ. Колесо А заклинено на валу маховика, тяга АВ надѣта на него свободно, а колесо В скрѣплено съ шатуномъ ВС. Такъ какъ послѣдній остается чувствитель он параллельнымъ самому себѣ, то можно допустить, что колесо В имѣетъ *поступательное круговое* движеніе вокругъ колеса А.



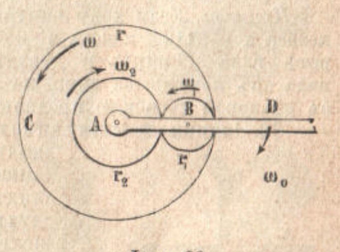
Фиг. 62.

Если r_1, r_2, $\omega_1 = 0$, ω_2 и ω_0 будутъ радіусы колесъ В и А и угловыя скорости колесъ и тяги, то по формулѣ (а) будемъ имѣть:

$$\frac{\omega_2 - \omega_0}{0 + \omega_0} = \frac{r_1}{r_2}, \text{ или: } \omega_2 = \omega_0 \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right). \text{ Если } r_1 = r_2, \text{ то } \omega_2 = 2\omega_0,$$

т. е., маховикъ вдвое скорѣе вращается, нежели кривошипъ.

60. Конный приводъ Баррета (фиг. 63). На вертикальномъ валѣ заклинено колесо А и надѣтъ вольно рычагъ D (*водило*, къ которому припрягается лошадь), въ которомъ укрѣплена ось колеса В. Это послѣднее сцѣпляется какъ съ колесомъ А такъ и съ третьимъ колесомъ С съ внутренними зубцами, концентрическимъ съ колесомъ А, но неподвижнымъ.



Фтг, 63.

Пусть r, r_1, r_2; ω, ω_1, ω_2 и ω_0 будутъ радіусы и абсолютныя угловыя скорости колесъ и водила. Тогда для колесъ А и В по формулѣ (а):

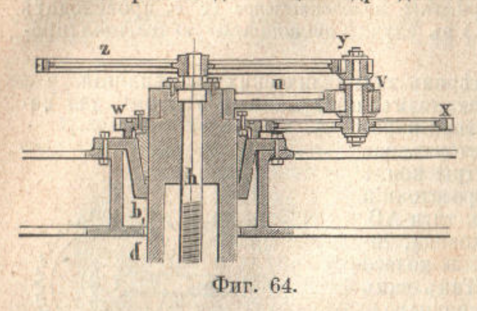
$$\frac{\omega_2 - \omega_0}{\omega_1 + \omega_0} = \frac{r_1}{r_2}; \text{ а для колесъ В и С: } \frac{\omega_1 + \omega_0}{\omega + \omega_0} = \frac{r}{r_1}, \text{ откуда:}$$

$$\omega_2 = \omega_0 \left[1 + \frac{r}{r_2}\right] + \omega \frac{r}{r_2}, \text{ или, обнаруживая знаки скоростей (§ 58):}$$

$$\omega_2 = \omega_0 \left[1 + \frac{r}{r_2}\right] - \omega \frac{r}{r_2}.$$

Если $\omega=0$ (какъ мы предполагали), то $\omega_2 = \omega_0\left(1 + \frac{r}{r_2}\right) = 2\omega_0\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)$, а при $r_1 = r_2$, $\omega = 4\omega_0$, т. е. *въ то время, пока лошадь сдѣлаетъ одинъ кругъ, валъ повернется четыре раза*.

61. На фиг. 64 изображенъ такъ наз. *планетный механизмъ*, устраиваемый въ вертикальныхъ цилиндросверлильныхъ станкахъ для совершенія *подачи* сверла по длинѣ цилиндра для снятія непрерывной стружки.



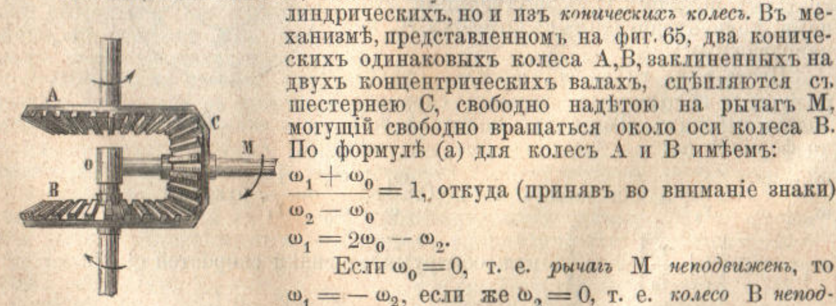
Фиг. 64.

Винтъ h проходитъ внизу сквозь гайку, укрѣпленную къ рѣзцовой коробкѣ (*башкѣ* — §51), которая при вращеніи винта перемѣщается вмѣстѣ съ гайкою вдоль цилиндра. Винтъ h заключенъ внутри вертикальнаго пустотѣлаго вала d, на которомъ укрѣплена коробка съ рѣзцами и который снабженъ продольною щелью, допускающею передвиженіе гайки съ коробкою вдоль вала во время его вращенія; въ этомъ поступательномъ движеніи рѣзцовой коробки валъ d участія не принимаетъ.

Передача медленнаго вращенія отъ вала d винту h производится слѣдующимъ образомъ. На верхнемъ концѣ вала d заклиненъ кривошипъ u, несущій два колеса: шестерню y, сцѣпляющуюся съ колесомъ z, заклиненнымъ на верхнемъ концѣ винта h, и колесо x, сцѣпляющееся съ колесомъ w, концентрическимъ съ валомъ d, но укрѣпленнымъ не къ нему, а къ станинѣ. При такомъ устройствѣ, вращеніе вала d сообщается кривошипу u, при чемъ колесо x будетъ катиться по колесу w, обусловливая нѣкоторое относительное движеніе пуговки кривошипа v и шестерни y по отношенію къ кривошипу. Это относительное движеніе сообщается затѣмъ колесу z, а слѣд., и винту h.

Примѣръ. Если ходъ винта h = 18 мм., число зубцовъ колеса w равно 84 колеса x — 112, колеса z — 180 и шестерни y — 12, то при одномъ оборотѣ вала d винтъ h дѣлаетъ $^{19}/_{20}$ оборота, слѣдовательно, относительно вала онъ повернется лишь на $^{1}/_{20}$ часть оборота (отстанетъ), а потому гайка съ рѣзцовой коробкою продвинется при одномъ оборотѣ вала d лишь на 0,8 мм.

62. Эпициклическія зацѣпленія могутъ быть составлены не только изъ цилиндрическихъ, но и изъ *коническихъ колесъ*. Въ механизмѣ, представленномъ на фиг. 65, два коническихъ одинаковыхъ колеса A, B, заклиненныхъ на двухъ концентрическихъ валахъ, сцѣпляются съ шестернею C, свободно надѣтою на рычагъ M, могущій свободно вращаться около оси колеса B. По формулѣ (a) для колесъ A и B имѣемъ:



Фиг. 65.

$$\frac{\omega_1 + \omega_0}{\omega_2 - \omega_0} = 1,$$ откуда (принявъ во вниманіе знаки)

$$\omega_1 = 2\omega_0 - \omega_2.$$

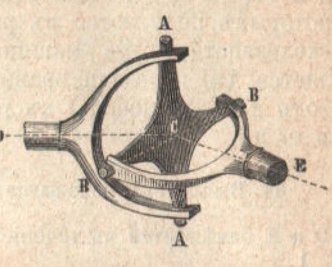
Если $\omega_0 = 0$, т. е. *рычагъ* M *неподвиженъ*, то $\omega_1 = -\omega_2$, если же $\omega_2 = 0$, т. е. *колесо* B *неподвижно*, то валъ колеса A вращается со скоростью $2\omega_0$, вдвое большею скорости вращенія рычага и притомъ *въ одну съ нимъ сторону*.

63. Шарниръ Гука. Этотъ механизмъ, извѣстный также подъ именемъ *универсальнаго* шарнира [1]), служитъ для передачи враще-

[1]) Изобрѣтеніе этого механизма принадлежитъ итальянцу Cardano (1501—1576), а практическое примѣненіе было дано ему англ. Hooke'омъ (1635—1702).

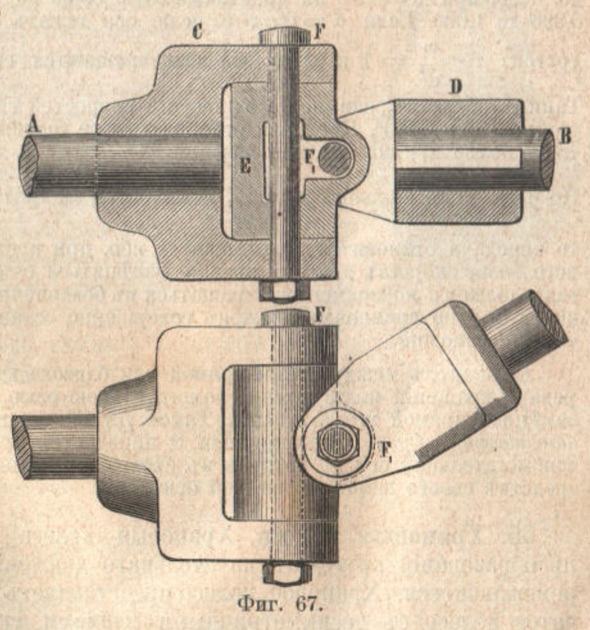
нія между двумя осями, пересѣкающимися подъ тупымъ угломъ, измѣняющимся во время передачи.

Шарниръ Гука, въ простѣйшемъ видѣ, состоитъ изъ прямоугольнаго креста АВАВ (фиг. 66), по концамъ котораго заточены цапфы. Цапфы помѣщаются въ гнѣздахъ, сдѣланныхъ въ вилкахъ, которыми оканчиваются валы; направленія осей пересѣкаются въ центрѣ С креста. При вращеніи одного изъ валовъ крестъ вращается и заставляетъ вращаться другой валъ, такъ что при одномъ оборотѣ вала D, другой валъ сдѣлаетъ также полный оборотъ; но отношеніе скоростей не остается постояннымъ въ теченіе оборота, т. е. передача происходитъ неравномѣрно.



Фиг. 66.

На фиг. 67 изображена конструкція шарнира Гука, часто встрѣчающаяся на практикѣ. На концахъ валовъ А и В заклинены втулки С и D съ вилками, сквозь которыя пропущены два болта F, F_1, образующіе прямоугольный крестъ при посредствѣ соединительной трубки Е.



Фиг. 67.

Шарниръ Гука употребляется нерѣдко въ мастерскихъ для соединенія частей передаточнаго вала, имѣющаго значительную длину. Установка длиннаго вала на большомъ числѣ подшипник. представляетъ весьма трудную задачу; при малѣйшемъ измѣненіи въ положеніи подшипниковъ, что можетъ произойти, напримѣръ, вслѣдствіе неправильнаго осѣданія частей строенія, можетъ нарушиться правильная установка вала и самая передача сдѣлается невозможною. Для избѣжанія этого валъ составляютъ изъ частей, которыя

соединяются между собою при помощи шарнира Гука. Такъ какъ углы, образуемые двумя смежными частями вала, немного отличаются отъ 180°, то отношеніе скоростей валовъ будетъ мало уклоняться отъ единицы. Въ Голландіи шарниръ Гука употребляется для передачи движенія отъ вѣтряной мельницы архимедову винту, которымъ пользуются въ работахъ по осушенію мѣстности. Въ сельскохозяйственныхъ машинахъ универсальный шарниръ употребляется для передачи вращенія отъ машины-двигателя (конный приводъ или локомобиль) къ рабочимъ машинамъ (вѣялки, молотилки и т. п.).

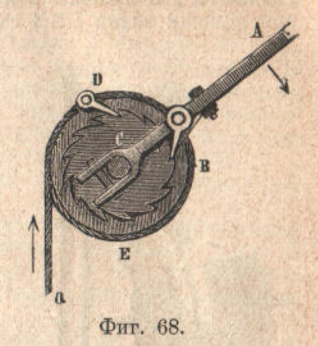
64. Вычисленіе показываетъ что отношеніе $\frac{\omega}{\omega'}$ угловыхъ скоростей валовъ D и E измѣняется въ теченіе одного оборота въ предѣлахъ отъ $\cos\alpha$ до $\frac{1}{\cos\alpha}$, гдѣ α есть уголъ между осями. Предѣлы эти будутъ тѣмъ шире, чѣмъ ближе уголъ α къ 90°, и, напротивъ, тѣмъ уже, чѣмъ ближе уголъ къ 0°. Напр., при $\alpha = 30°$ это отношеніе измѣняется въ предѣлахъ отъ 0,866 до 1,155; при $\alpha = 15°$ въ предѣлахъ отъ 0,966 до 1,035; при $\alpha = 5°$ отъ 0,996 до 1,004. Если $\alpha = 0°$, т. е. если оси лежатъ одна на продолженіи другой, то $\frac{\omega}{\omega'} = 1$ и слѣд., оба вала вращаются совершенно одинаково. Такимъ образомъ, измѣненіе отношенія скоростей тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе уголъ DCE къ 180°. Передача становится уже возможна, какъ только этотъ уголъ болѣе прямаго; отсюда названіе *универсальный*, данное этому шарниру. Но если уголъ α равенъ 90° $\left(\frac{\omega}{\omega'}\right.$ измѣняется въ предѣлахъ отъ 0 до $\left.\infty\right)$, то передача становится невозможною, ибо, при постоянной скорости одного вала, скорость другаго должна измѣняться отъ 0 до ∞, т. е. другой валъ долженъ по временамъ вращаться въ безконечное число разъ быстрѣе перваго, а по временамъ долженъ совершенно останавливаться, что конечно, невозможно.

Если уголъ между осями прямой или близокъ къ прямому, то для передачи вращенія пользуются вспомогательною осью, имѣющею назначеніе замѣнить прямой уголъ тупымъ. Такое устройство носитъ названіе *двойнаго шарнира Гука*. Движеніе вала D передается при помощи шарнира C вспомогательной оси E, которая въ свою очередь передаетъ его при посредствѣ своего шарнира третьей оси.

65. Храповыя колеса. Храповыя колеса употребляются для преобразованія круговаго качательнаго движенія въ круговое перемежающееся. Храповое колесо представляетъ цилиндрическое зубчатое колесо съ несимметричными зубцами, скошенными въ одну сторону. Съ передней стороны зубцы ограничены радіальными плоскостями, а съ задней — выпуклыми поверхностями. Храповыя колеса бываютъ *простаго* и *двойнаго* дѣйствія.

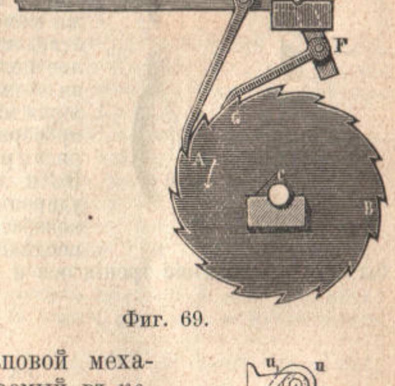
На фиг. 68 представлено храповое колесо *простаго дѣйствія*. Необходимую принадлежность его составляетъ *собачка* или крю-

чекъ, одинъ конецъ котораго прикрѣпленъ на шарнирѣ къ рычагу АС, а другой захватываетъ за зубцы колеса; собачка постоянно прижата къ колесу небольшею пружиною. Одинъ конецъ рычага укрѣпленъ вольно на оси храповика, а на другой дѣйствуетъ движущая сила. При нажатіи конца А рычага книзу собачка подвинетъ колесо по направленію стрѣлки на одинъ или нѣсколько зубцовъ; но при обратномъ ходѣ рычага собачка будетъ только скользить по зубцамъ храповика, въ движеніик отораго наступитъ перерывъ до слѣдующаго размаха рычага.



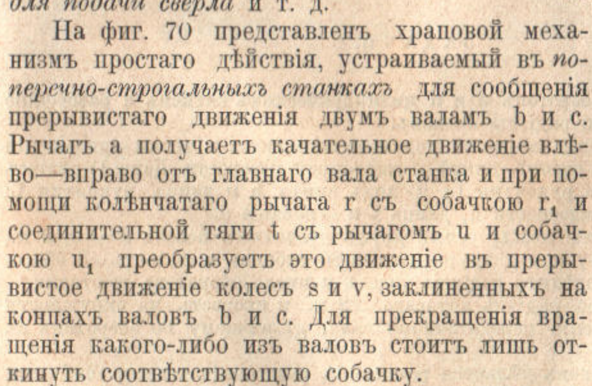
Фиг. 68.

Въ храпововъ колесѣ *двойного дѣйствія* (фиг. 69), движеніе происходитъ безъ большихъ паузъ, хотя остается перемежающимся. Эит имѣютъ колеса двѣ собачи АН и FG. При движеніи рычага внизъ и вверхъ колесо поворачивается на нѣсколько зубцовъ попеременнымъ дѣйствіемъ то одной, то другой собачки.

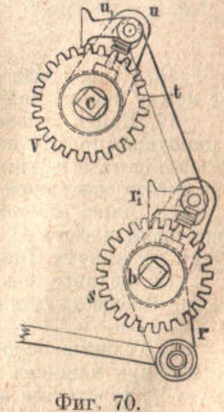


Фиг. 69.

Храповыя колеса встрѣчаются во многихъ машинахъ; напр., въ *строгальныхъ станкахъ для боковой подачи обстрогиваемаго предмета, въ сверлильныхъ станкахъ для подачи сверла* и т. д.



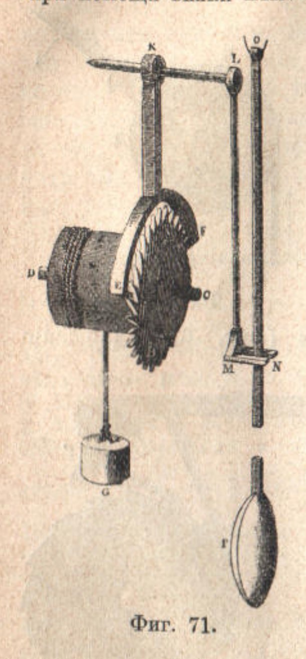
На фиг. 70 представленъ храповой механизмъ простаго дѣйствія, устраиваемый въ *поперечно-строгальныхъ станкахъ* для сообщенія прерывистаго движенія двумъ валамъ b и с. Рычагъ а получаетъ качательное движеніе влѣво—вправо отъ главнаго вала станка и при помощи колѣнчатаго рычага r съ собачкою r_1 и соединительной тяги t съ рычагомъ u и собачкою u_1 преобразуетъ это движеніе въ прерывистое движеніе колесъ s и v, заклиненныхъ на концахъ валовъ b и с. Для прекращенія вращенія какого-либо изъ валовъ стоитъ лишь откинуть соотвѣтствующую собачку.



Фиг. 70.

66. Въ регулирующемъ механизмѣ стѣнныхъ часовъ существенную часть составляетъ храповое колесо АВ (фиг. 71) наз. *спускнымъ*, такъ какъ при помощи его достигается равномѣрно періодическое опусканіе гири G, слу-

жащей двигателемъ для всего механизма. За зубцы этого колеса зацѣпляютъ два крючка E и F *якоря* EKF, ось котораго (KL) соединена при помощи вилки LMN съ секунднымъ маятникомъ P, играющимъ роль регулятора въ разсматриваемомъ механизмѣ. Когда маятникъ находится въ своемъ среднемъ положеніи, то оба крючка стоятъ между зубцами спускнаго колеса и при томъ такъ, что одинъ крючекъ (E) упирается въ переднюю поверхность одного зубца, а другой касается задней поверхности другаго зубца. Хотя при этомъ колесо побуждается къ вращенію вѣсомъ гири (обыкновенно при посредствѣ системы зубчатыхъ колесъ, служащихъ для передачи движенія минутной и часовой стрѣлкамъ), но крючекъ E, упирающійся въ зубецъ спускнаго колеса, не позволяетъ валу его вращаться. Если теперь отведемъ маятникъ въ сторону, такъ чтобы крючекъ E сошелъ съ передней грани зубца, то колесо начнетъ вращаться, пока не встрѣтится съ другимъ крючкомъ, который задержитъ его на мгновеніе, но въ тотъ же моментъ маятникъ, начавъ новый размахъ, отведетъ крючекъ въ сторону, причемъ спускное колесо дѣйствіемъ гири снова повернется на тотъ же уголъ [1]). Такимъ образомъ, при помощи маятника и спускнаго колеса достигается преобразованіе равноускореннаго движенія гири въ равномѣрно-періодическое вращеніе вала DC и всего часоваго механизма. Дѣйствіемъ ударовъ зубцовъ о крючки поддерживается колебательное движеніе маятника, безъ чего послѣдній, качаясь самъ собою, остановился бы скоро вслѣдствіе тренія оси и сопротивленія воздуха.



Фиг. 71.

ЗАДАЧИ.

16. Даны числа оборотовъ n и n′ цилиндрическихъ катковъ и разстояніе d между осями. Найти радіусы катковъ.

17. Найти отношеніе скоростей поднимаемаго груза и точки приложенія движущаго усилія на воротѣ, винтѣ и наклонной плоскости. Дано: 1) радіусъ вала ворота r и длина рукоятки L; 2) ходъ винта h и длина рукоятки L; 3) высота наклонной плоскости h, длина l и основаніе a.

18. Дано: разстояніе между осями двухъ зубчатыхъ колесъ d = 0,52 м., шестерня имѣетъ 11 зубцовъ, другое колесо 60 зубцовъ и дѣлаетъ 48 оборотовъ въ минуту. Опредѣлить радіусы колесъ и число оборотовъ шестерни.

19. Водяное колесо, радіусъ котораго 2,2 м. и скорость на окружности 2 м., сообщаетъ движеніе передаточному валу, дѣлающему 60 оборотовъ въ

[1]) Толщина крючковъ дѣлается равною $^1/_2$ разстоянія между зубцами, слѣд., при каждомъ размахѣ маятника колесо повернется на величину, равную $^1/_2$ разстоянія между зубцами; а если число зубцовъ на колесѣ=30, то оно сдѣлаетъ полный оборотъ, когда маятникъ совершитъ 60 размаховъ, т. е. въ одну минуту.

минуту, при помощи пары зубчатыхъ колесъ, изъ которыхъ большое имѣетъ радіусъ 1,6 м. Опредѣлить радіусъ шестерни передаточнаго вала и разстояніе между передаточною осью и валомъ пріемника.

20. Зубчатое колесо имѣетъ 100 зубцовъ и дѣлаетъ 5 оборотовъ въ мин., оно сцѣпляется съ шестернею, имѣющею 9 зубцовъ; на оси послѣдней насажено второе колесо съ 80 зубцами, сообщающее движеніе второй шестернѣ, имѣющей 11 зубцовъ; третье колесо, сидящее на одной оси съ этой шестерней, снабжено 60 зубцами и въ свою очередь зацѣпляетъ третью шестерню съ 13 зубцами. Найти число оборотовъ и угловую скорость послѣдней.

21. Дано: разстояніе между 2 валами 10 фут., передаточное число $k=5$. Опредѣлить радіусы колесъ.

22. Дано: число паров. лош. N, передаваемыхъ отъ вала одного колеса валу другаго, число оборотовъ n въ мин. шестерни и передачное число k. Опредѣлить радіусы R и r колесъ, шагъ зацѣпленія p и толщину e зубца.

23. Даны: N, n, k и разстояніе d между осями колесъ. Опредѣлить радіусы, шагъ зацѣпленія и число зубцовъ колесъ.

24. Рѣшить 18 зад. при слѣдующихъ данныхъ: $N=18$, $n=70$ и $k=2{,}1$ (зацѣпленіе эпициклоидальное).

25. Водяное колесо передаетъ работу въ 25 пар. л. при помощи пары цилиндрич. колесъ; разстояніе между валомъ колеса и передаточною осью $4'$. Колесо дѣлаетъ 10 обор., а передаточный валъ долженъ дѣлать 55 обор. въ мин. Опредѣлить давленіе въ зубцахъ и число ихъ.

26. Опредѣлить потерю работы въ сек. на треніе въ зубцахъ внѣшнихъ колесъ, при слѣд. условіяхъ: давленіе въ зубцахъ $P = 350$ klg., радіусъ ведущаго колеса $r=03$ м., число зубцовъ на немъ $m=150$, число зубцовъ шестерни $m'=60$, $f=0{,}08$ и число оборотовъ колеса $n=50$.

27. Посредствомъ пары зубчатыхъ цилиндрич. колесъ должно быть передано рабочему валу 20 пар. лош.; числа зубцовъ колесъ 180 и 60; $f = 0{,}11$. Опредѣлить потерю работы на треніе въ зубцахъ (въ секунду).

28. Полезная работа машины равна 6 пар. л.; числа зубцовъ колесъ 108 и 24. Какая часть этой работы передается рабочему валу?

29. Найти отношеніе между движущею силою P и поднимаемымъ грузомъ на *червякѣ* (фиг. 56), принимая въ разсчетъ треніе между нарѣзкою винта и зубцами колеса. Обозначенія: r—радіусъ винта, L—длина рукоятки, ρ—плечо груза, R—радіусъ колеса, h—ходъ винта, α—уголъ подъема винта и f—коефф. тренія.

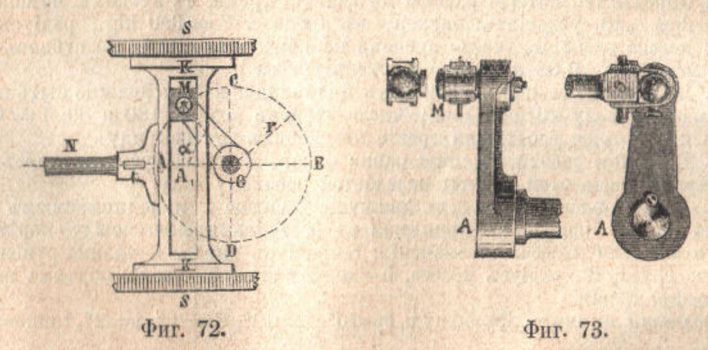
Численный примѣръ: $Q=50$ пуд., $\rho=10''$, $L=18''$, $R=20''$, $h=2''$, $\tan\alpha=0{,}1$, $f=0{,}15$.

ГЛАВА III.

Передача движенія при посредствѣ промежуточныхъ твердыхъ тѣлъ.

Механизмъ кривошипа и ползуна.—Механизмъ кривошипа и шатуна.—Крейцкопфъ и параллели. — Теорема Шаля. — Отношеніе скоростей пуговки и штока; вліяніе длины шатуна; мертвыя точки.—Кратные кривошипы; колѣнчатый валъ.—Круглый эксцентрикъ.—Сердцевидный эксцентрикъ.—Кулачные эксцентрики. — Механизмъ коромысла, шатуна и кривошипа. — Направляющіе параллелограммы. — Сокращенный параллелограммъ Уатта. — Полный параллелограммъ Уатта.—Задачи.

67. Механизмъ кривошипа и ползуна. (Фиг. 72). Механизмъ этотъ представляетъ одинъ изъ простѣйшихъ способовъ *преобразованія круговаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное качательное.* Онъ состоитъ изъ *кривошипа* или *мотыля* OM, имѣющаго видъ



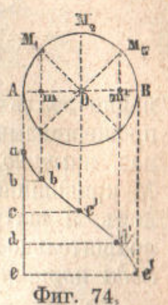
Фиг. 72. Фиг. 73.

рычага (фиг. 73), который концомъ A, снабженнымъ отверстіемъ, надѣвается на конецъ вала и заклинивается шпонкою. Въ отверстіе, сдѣланное въ другомъ концѣ кривошипа, вставляется хвостъ цапфы M, носящей названіе *пуговки*; скрѣпленіе производится посредствомъ чеки или гайки, которая навинчивается на нарѣзанный конецъ хвоста пуговки. Мотыль отковывается чаще всего изъ желѣза, но иногда отливается изъ чугуна; въ первомъ случаѣ сѣченіе его простое прямоугольное; во второмъ сѣченію придаютъ болѣе сложную форму двойнаго T со скрѣпляющимъ ребромъ. При вращеніи вала центръ пуговки M будетъ описывать окружность, радіусъ которой равенъ разстоянію между центромъ вала и центромъ пуговки; это разстояніе наз. *длиною мотыля.*

Въ разсматриваемомъ механизмѣ на пуговку кривошипа OM (фиг. 72) надѣтъ *ползунъ* M, помѣщенный въ прорѣзѣ рамы KK,

которая соединена при помощи клина t съ тягою N. При вращенiи вала O ползунъ скользитъ въ прорѣзѣ рамы K, сообщая ей, а, слѣдовательно, и тягѣ N, прямолинейное качательное движенiе между направляющими S, S, не позволяющими рамѣ уклоняться въ стороны.

68. Не трудно показать, что *равномѣрному движенiю пуговки соотвѣтствуетъ перемѣнное движенiе тяги* N, *т. е. что передача происходитъ неравномѣрно.* Употребимъ для этого графическiй методъ. Раздѣлимъ окружность пуговки на нѣсколько равныхъ частей, напр. на 8, соотвѣтствующихъ равнымъ промежуткамъ времени, ибо движенiе пуговки равномѣрное. Пусть длины ab, bc, cd..., отложенныя по линiи ae, перпендикулярной къ AB (фиг. 74) представляютъ эти промежутки. Возставимъ изъ точекъ b, c, d... ординаты, на которыхъ отложимъ величины перемѣщенiй стержня N; напр., для момента b длину пройденнаго пути (Am) получимъ, проведя изъ M_1 линiю параллельную ae до пересѣченiи съ перпендикуляромъ bb′ въ точкѣ b′. Соединивъ концы ординатъ, получимъ линiю ab′c′d′e′, которая есть кривая, а, слѣд., движенiе стержня перемѣнное. Такимъ образомъ оказывается, что, по самой сущности устройства этого механизма, невозможно достигнуть при помощи его равномѣрной передачи движенiя.



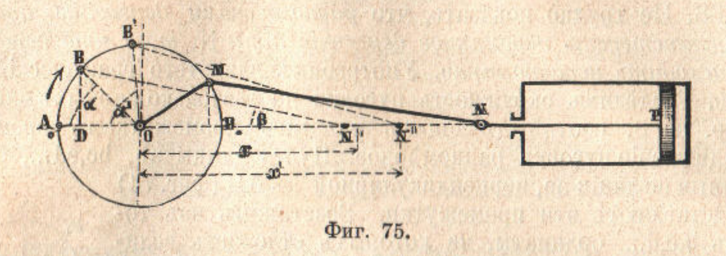
Фиг. 74.

Найдемъ отношенiе скоростей пуговки и стержня. Пусть c будетъ скорость равномѣрнаго движенiя пуговки. Это движенiе можно разложить на два гармоническiя качанiя, направленныя по дiаметрамъ AB и CD (фиг. 74) окружности пуговки, изъ которыхъ первый совпадаетъ съ направленiемъ движенiя стержня N. Перемѣщенiе пуговки M по второму направленiю не имѣетъ влiянiя на движенiе стержня; при этихъ перемѣщенiяхъ ползунъ только скользитъ внутри прорѣза рамы K, не передвигая ее. Перемѣщенiе пуговки M по первому направленiю передается стержню N, ибо пуговка не можетъ передвинуться по этому направленiю, иначе какъ передвинувъ на столько же раму K. Поэтому, если пуговка M повернется на уголь α, то передвиженiе стержня N будетъ AA_1, равное $r\,(1 - \operatorname{Cos}\alpha)$, гдѣ r есть длина кривошипа. Движенiе стержня будетъ неравномѣрное; *скорость его* $v = c\operatorname{Sin}\alpha$, т. е. *равна въ каждое мгновенiе проекцiи скорости пуговки на направленiе* AB, *а ускоренiе пропорцiонально разстоянiю проекцiи* A_1 *пуговки отъ центра* O. Полная величина перемѣшенiя стержня равна удвоенной длинѣ кривошипа OM, т. е. *ходъ стержня* $l = 2r$.

69. Механизмъ кривошипа и шатуна. Система кривошипа и шатуна представляетъ наиболѣе употребительный механизмъ для преобразованiя прямолинейнаго качательнаго движенiя въ круго-

вое непрерывное (паровыя машины безъ коромысла) или обратно (лѣсопильныя машины) [1]).

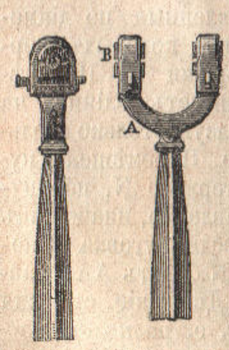
На фиг. 75 представлено общее расположеніе горизонтальной паровой машины безъ коромысла. Стержень NP (*штокъ* поршня), получающій движеніе отъ пароваго поршня P, движется прямоли-



Фиг. 75.

нейно взадъ-впередъ по направленію прямой OP, между особыми проводниками (§ 71). Концомъ N штокъ сочлененъ съ тягою MN, наз. *шатуномъ*, другой конецъ котораго сочлененъ съ пуговкою M кривошипа (фиг. 73). При движеніи штока взадъ-впередъ, конецъ M шатуна движется по окружности OM, сообщая кривошипу вращательное непрерывное движеніе вокругъ оси O. *Величина хода поршня равна удвоенной длинѣ кривошипа.*

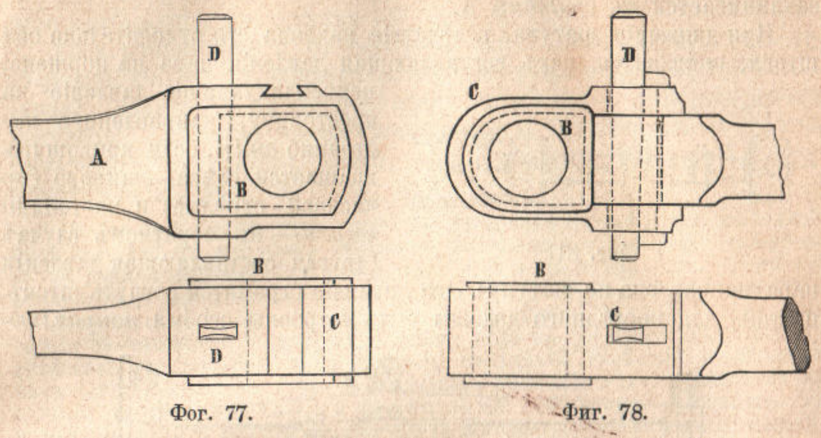
70. На фиг. 76 изображенъ *чугунный шатунъ* обыкновеннаго устройства. Тотъ конецъ шатуна, которымъ онъ сочленяется со штокомъ, имѣетъ обыкновенно форму *вилки* (A); конецъ штока снабжается двустороннею цапфою, которая и укрѣпляется своими шипами въ вилкѣ. Концы шатуна, носящіе названіе *головокъ* (B), имѣютъ устройство, сходное съ подшипникомъ. Каждая головка состоитъ изъ трехъ частей: *скобы* (C), *вкладышей* (B) и *клиньевъ* (D).Скоба или хомутъ служитъ для установки и укрѣпленія вкладышей и составляетъ или одно цѣлое съ тѣломъ шатуна (головка съ *неподвижною* скобою, фиг. 77) или же представляетъ отдѣльную часть (головка съ *подвижною* скобою, фиг. 78). Клинья назначаются для подтягиванія вкладышей по мѣрѣ ихъ истиранія, а также для скрѣпленія хомута съ шатуномъ, если головка съ подвижною скобою. Головка всегда снабжается маслянкою.



Фиг. 76.

[1]) Первое примѣненіе механизма шатуна и мотыля для преобразованія прямолинейнаго качательнаго движенія поршня въ круговое непрерывное приписывается англ, инженеру Washbroug'y (1778 г.).

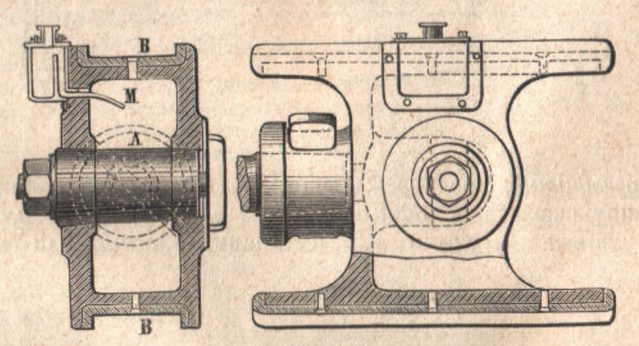
Шатуны дѣлаются *чугунные*, но чаще *желѣзные* или *стальные*. Въ первомъ случаѣ сѣченію даютъ *крестообразную* форму (фиг. 76)



Фог. 77. Фиг. 78.

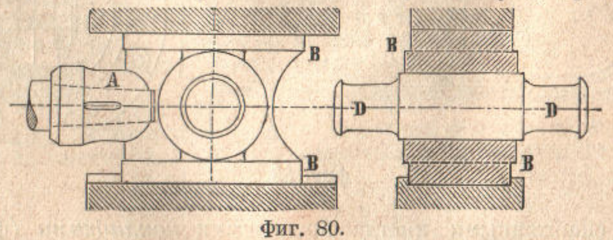
во второмъ—*круглую*, а въ локомотивахъ—*прямоугольную*.

71. Соединеніе шатуна съ поршневымъ штокомъ производится



Фиг. 79

при помощи такъ наз. *крестовины* или *крейцкопфа*, представляю-

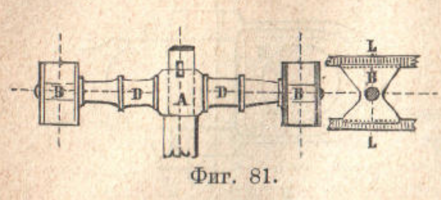


Фиг. 80.

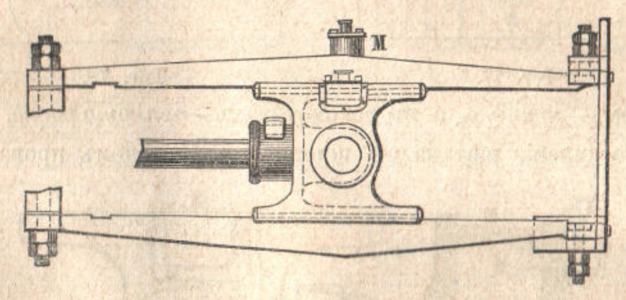
щаго или простую *цапфу* A (фиг. 79), на которую надѣвается *головка* шатуна, или имѣющаго видъ *короткой оси* DD (фиг. 80),

обыкновенно желѣзной съ двумя цапфами D (если конецъ шатуна вилообразный) или съ 2 шейками DD (фиг. 81); штокъ поршня заклинивается въ *стаканѣ* A.

При движеніи шатуна, вслѣдствіе наклона его относительно оси штока, появляется, какъ составляющая давленія пара на поршень, перпендикулярное давленіе на крестовину, направленное постоянно *внизъ*, если кривошипъ вращается слѣва—направо (по часовой стрѣлкѣ) и постоянно *вверхъ* — въ обратномъ случаѣ (другая составляющая давленія пара направлена по шатуну). Это давленіе стремится согнуть штокъ, поэтому для послѣдняго должны быть устроены особыя *направляю-*

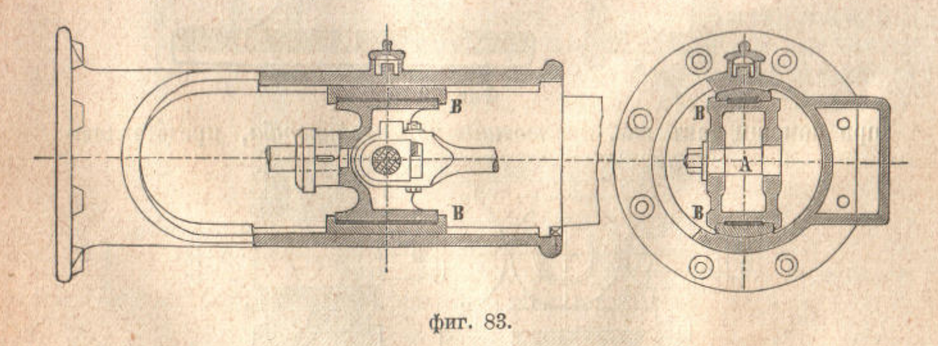


Фиг. 81.



Фиг. 82.

щія (проводники), предупреждающія этотъ прогибъ. Съ этою цѣлью крестовину снабжаютъ *однимъ* (фиг. 79 и 80) или *двумя* (фиг. 81) *чугунными ползунами* BB, имѣющими *плоскую* или *выпуклую*



фиг. 83.

форму и снабженными иногда бронзовыми *накладками* (фиг. 79). Ползуны ходятъ между направляющими рейками или *паралле-лями* L,L, которыя приготовляются изъ *чугуна* или *желѣза*

(фиг. 82) и должны быть укрѣплены неподвижно, параллельно оси пароваго цилиндра. Трущіяся поверхности параллелей должны быть хорошо обстроганы, пришлифованы и обильно смазываемы, для чего снабжаются маслянками (М, фиг. 82).

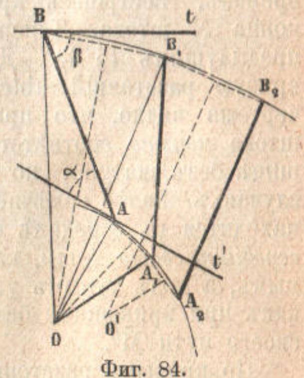
Хотя направляющія съ четырьмя параллелями лучше удовлетворяютъ своему назначенію, нежели направляющія съ двумя ползунами, однако въ настоящее время наибольшее распространеніе получило, благодаря своей компактности и легкости обработки (простымъ сверленіемъ), конструкція двойныхъ параллелей, представленная на фиг. 83.

72. Движеніе шатуна. При вращеніи кривошипа шатунъ движется такимъ образомъ, что *всѣ его точки остаются въ плоскостяхъ, перпендикулярныхъ къ оси вала.* Движеніе тѣла, при которомъ всѣ его точки остаются въ параллельныхъ плоскостяхъ, наз. *движеніемъ, параллельнымъ данной плоскости.*

Всякое сѣченіе тѣла плоскостью, параллельною данной, будетъ двигаться въ плоскости, подобно тому какъ тѣло въ пространствѣ; а потому, если извѣстно движеніе этого сѣченія, то будетъ извѣстно и движеніе тѣла. Слѣд., въ этомъ случаѣ изслѣдованіе движенія тѣла сводится на изслѣдованіе движенія плоской фигуры въ ея собственной плоскости. Но положеніе данной фигуры на плоскости вполнѣ опредѣляется положеніемъ какой-либо прямой линіи, съ нею связанной; поэтому, вмѣсто изслѣдованія движенія фигуры, можно ограничиться изслѣдованіемъ движенія этой прямой.

73. Теорема Шаля. *Всякое движеніе прямой по плоскости въ теченіе безконечно малаго времени можно разсматривать какъ вращеніе около нѣкотораго мгновеннаго центра.*

Пусть AB (фиг. 84) будетъ начальное положеніе прямой; A_1B_1, A_2B_2.... послѣдовательныя безконечно близкія ея положенія. Проведемъ прямыя AA_1, BB_1 и изъ срединъ ихъ возставимъ перпендикуляры до пересѣченія въ точкѣ O, которую соединимъ съ A, A_1, B и B_1 прямыми OA, OA_1, OB и OB_1. Треугольники OAB и OA_1B_1 равны между собою по равенству сторонъ. Поэтому, чтобы совмѣстить первый треугольникъ со вторымъ, нужно повернуть первый около O на уголъ AOA_1 или, что тоже, на уголъ BOB_1. При этомъ AB совпадетъ съ A_1B_1. Изъ положенія A_1B_1 въ положеніе A_2B_2 можно привести прямую помощью вращенія около цэнтра O_1, который опредѣлится подобно предыдущему и т. д. Такимъ образомъ, всякое движеніе прямой или фигуры по плоскости можно разсматривать какъ рядъ безконечно малыхъ вращеній около послѣдовательныхъ мгновенныхъ тценровъ.



Фиг. 84.

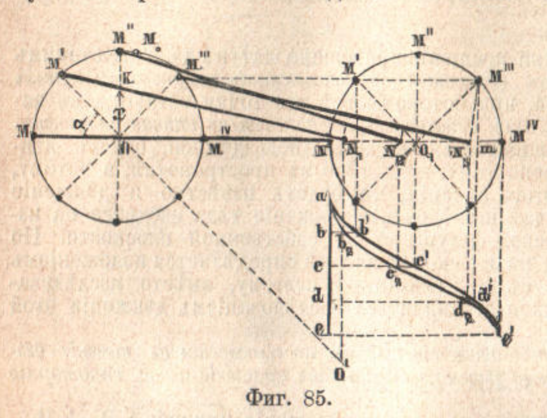
Всѣ точки прямой AB обладаютъ въ каждый моментъ одинаковою угловою скоростью; поэтому линейныя скорости v и v' концовъ A и B будутъ относиться какъ радіусы OA и OB, т. е.:

$$\frac{v}{v'} = \frac{OA}{OB}.$$

Но дуги AA_1, A_1A_2.... траекторіи точки A, а также дуги BB_1, B_1B_2... траекторіи точки B, какъ безконечно малыя, могутъ быть приняты за дуги

круговъ, описанныхъ изъ общихъ центровъ O, O_1....., слѣд., радіусы OA и OB будутъ *нормалями* для траекторій AA_1 и BB_1 въ точкахъ A и B. Поэтому можно сказать, что *отношеніе скоростей двухъ точекъ A и B равно отношенію нормалей OA и OB* или *разстояній точекъ A и B отъ мгновеннаго центра.*

74. Отношеніе скоростей кривошипа и поршня; вліяніе длины шатуна; мертвыя точки. Рѣшимъ этотъ вопросъ графически. Пусть N (фиг. 85) будетъ положеніе конца штока, когда пуговка кривошипа находится въ положеніи M; длина шатуна равна MN. Положимъ, что кривошипъ повернулся на уголъ α, при чемъ пуговка его перемѣстилась въ положеніе M'. Засѣкая изъ M', какъ изъ центра, точку N_1 радіусомъ $M'N_1 = MN$ на линіи OO_1, получимъ соотвѣтствующее положеніе конца шатуна. Сдѣлаемъ тоже самое для нѣсколькихъ положеній пуговки: M'', M'''... и затѣмъ, принявъ линію ae, перпендикулярную къ OO_1, за ось временъ, построимъ кривую разстояній $ab_2c_2d_2e'$ для движенія конца N штока. Теперь сравнимъ этотъ способъ передачи съ предыдущимъ (§ 64). Для этого построимъ на томъ же чертежѣ кривую разстояній $ab'c'd'e'$ для кривошипа безъ шатуна. Изъ чертежа видно, что при кривошипѣ съ шатуномъ перемѣщенія штока *меньше* соотвѣтственныхъ перемѣщеній штока при кривошипѣ безъ шатуна; но полное перемѣщеніе одинаково въ обоихъ случаяхъ. Далѣе замѣчаемъ, что въ первомъ случаѣ, когда поршень находится въ серединѣ своего хода, кривошипъ находится *не въ серединѣ своего пути*, какъ бы казалось, т. е. стоитъ не подъ прямымъ, а подъ тупымъ угломъ MOM_0, къ линіи штока; между тѣмъ какъ при кривошипѣ безъ шатуна пуговка находится въ серединѣ своего пути M''.



Фиг. 85.

По кривымъ разстояній $ab'c'd'e'$ и $ab_2c_2d_2e'$ не трудно прослѣдить измѣненія скорости поршня въ теченіе одного хода, построивъ кривыя скоростей.

Легко видѣть, что *разница перемѣщеній штока въ сравниваемыхъ механизмахъ тѣмъ меньше, чѣмъ длиннѣе шатунъ*. Дѣйствительно, предположимъ, что пуговка M перешла въ положеніе M'''; перемѣщеніе конца N штока при кривошипѣ безъ шатуна будетъ

равно Nm, а при кривошипѣ съ шатуномъ—NN_3. Разность этихъ перемѣщеній равна N_3m; она будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ длиннѣе шатунъ, ибо съ увеличеніемъ длины шатуна дуга $M'''N_3$ все болѣе приближается къ перпендикуляру $M'''m$, съ которымъ совпадетъ при безконечно большой длинѣ шатуна; тогда $N_3m = o$, т. е. перемѣщенія штока въ обоихъ случаяхъ будутъ одинаковы. На этомъ основаніи механизмъ, изображенный на фиг. 72, наз. *кривошипомъ съ безконечнодлиннымъ шатуномъ*. На практикѣ *длина шатуна дѣлается обыкновенно отъ 5 до 6 разъ больше длины кривошипа;* при этомъ разница между перемѣщеніями штока въ обоихъ механизмахъ на столько незначительна, что мы можемъ принимать скорость поршня равною проекціи скорости пуговки на линію штока MM^{IV}. *Наибольшею скоростью поршень будетъ обладать въ серединѣ хода:* она равна скорости с пуговки. Къ концу хода скорость поршня постепенно уменьшается до нуля, что составляетъ необходимое условіе для избѣжанія ударовъ поршня о крышки пароваго цилиндра.

Точки М и M^{IV} окружности пуговки, соотвѣтствующія мертвымъ положеніямъ поршня ($v = o$), наз. *мертвыми точками*. Движущее усиліе (давленіе пара на поршень) въ эти моменты направлено по длинѣ кривошипа, и, слѣд., вращающій пуговку моментъ равенъ нулю.

Кривошипъ, придя въ эти положенія, не можетъ выйти изъ нихъ безъ помощи маховика, ибо одной инерціи движущихся частей, какъ-то: штока, шатуна, кривошипа, зубчатыхъ колесъ, сидящихъ на валу кривошипа, въ большинствѣ случаевъ далеко недостаточно для прохожденія мертвыхъ точекъ. Кривошипъ сводится съ мертвыхъ точекъ живою силою маховика. Если въ моментъ остановки машины кривошипъ и шатунъ остановились на линіи мертвыхъ точекъ, то передъ пусканіемъ машины вновь въ ходъ, необходимо свести ихъ съ этой линіи, повернувъ маховикъ на нѣкоторый уголъ.

75. Такъ какъ шатунъ движется параллельно плоскости, перпендикулярной къ оси вала, то примѣняя теорему Шаля (§ 69) можно непосредственно найти отношеніе скоростей пуговки и поршня. Разсмотримъ положеніе $M'N_1$ шатуна (фиг. 85). Нормали къ траекторіямъ его концовъ пересѣкаются въ точкѣ O', которая будетъ мгновеннымъ центромъ вращенія шатуна. Назвавъ буквами v и c скорости поршня и пуговки, будемъ имѣть (§ 69):

$$\frac{v}{c} = \frac{O'N_1}{O'M'} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(a)}.$$

Линія $M'N_1$ пересѣкаетъ радіусъ OM″, перпендикулярный къ OM, въ точкѣ K; назовемъ отрѣзокъ OK буквою x. Тогда изъ подобныхъ треугольниковъ OM'K и $O'M'N_1$ получимъ:

$$\frac{O'N_1}{O'M'} = \frac{KO}{OM'} = \frac{x}{r}, \text{ слѣд., } \frac{v}{c} = \frac{x}{r} \text{ или } \frac{v}{\omega r} = \frac{x}{r}, \text{ откуда } v = \omega x \quad \ldots\ldots \text{(b)}$$

гдѣ ω есть угловая скорость кривошипа. Такимъ образомъ, при постоянной ω, скорость поршня пропорціональна отрѣзку x. При $x = o$, т. е. когда ось

шатуна совпадаетъ съ осью кривошипа (поршень находится въ крайнихъ точкахъ своего хода) скорость поршня равна нулю. Наибольшую величину получаетъ x, когда ось шатуна направлена по касательной къ окружности пуговки, т. е. когда шатунъ перпендикуляренъ къ кривошипу.

Выразимъ отношенiе скоростей пуговки кривошипа и поршня въ зависимости отъ угла α поворота кривошипа отъ мертвой точки M. Пусть l будетъ длина шатуна и β — уголъ $M'N_1M$, образуемый шатуномъ съ линiею мертвыхъ точекъ; тогда будемъ имѣть:

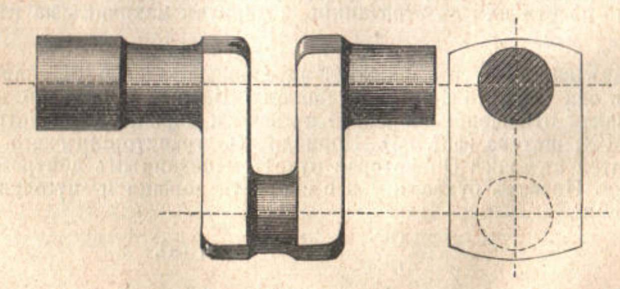
$$\frac{v}{c}=\frac{O'N_1}{O'M'}=\frac{ON_1\tan\alpha}{(ON_1+r\mathrm{Cos}\alpha)\frac{1}{\mathrm{Cos}\alpha}}=\frac{ON_1\mathrm{Sin}\alpha}{l\mathrm{Cos}\beta}=\frac{(l\mathrm{Cos}\beta-r\mathrm{Cos}\alpha)\mathrm{Sin}\alpha}{l\mathrm{Cos}\beta}.$$

Но изъ треугольника $OM'N_1$ имѣемъ: $\mathrm{Sin}\beta=\frac{r}{l}\mathrm{Sin}\alpha$, поэтому:

$$v=c\mathrm{Sin}\alpha\left\{1-\frac{r\mathrm{Cos}\alpha}{l\sqrt{1-\frac{r^2}{l^2}\mathrm{Sin}^2\alpha}}\right\}\quad\ldots\ldots\quad(17).$$

На практикѣ отношенiе $\frac{r}{l}$ всегда дѣлается небольшимъ, именно отъ $^1/_5$ до $^1/_6$ и даже до $^1/_8$, поэтому второй членъ множителя въ скобкахъ всегда небольшая дробь. Пренебрегая имъ передъ единицею, получимъ: $v=c\sin\alpha$. Эта формула. строго вѣрная для случая безконечно длиннаго шатуна (§ 69), показываетъ что *скорость поршня можно приблизительно считать равною проекцiи скорости пуговки на линiю мертвыхъ точекъ.*

76. Кратные кривошипы; колѣнчатый валъ. Устройство кратныхъ кривошиповъ имѣетъ цѣлью *уменьшенiе влiянiя мертвыхъ точекъ.* Если валъ имѣетт *два кривошипа*, то они заклиниваются на концахъ вала *подъ прямымъ угломъ* одинъ къ другому, такъ что когда одинъ кривошипъ находится въ мертвой точкѣ и



Фиг. 86.

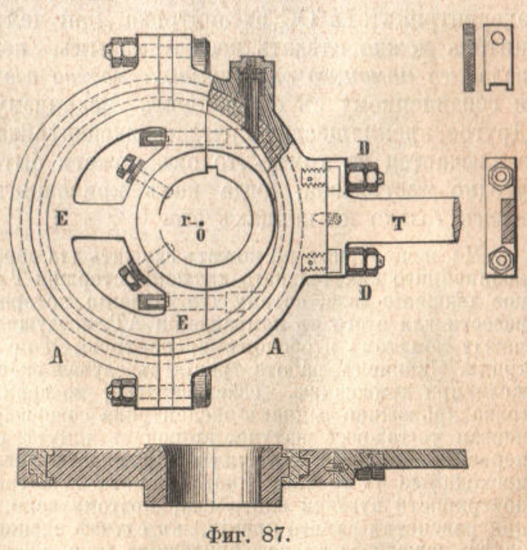
моментъ усилiя, на него дѣйствующаго, равенъ нулю, тогда моментъ усилiя, дѣйствующаго на другой кривошипъ, имѣетъ свое наибольшее значенiе, слѣд., одинъ кривошипъ будетъ выводить другой изъ мертвой точки. Легко видѣть, что по мѣрѣ уменьшенiя момента усилiя, вращающаго одну пуговку, моментъ этотъ для дру-

гой пуговки постепенно возрастаетъ, такъ что измѣненія величины момента, вращающаго валъ, выходятъ настолько незначительны, что во многихъ случаяхъ нѣтъ надобности прибѣгать къ помощи особыхъ уравнителей движенія.

Въ *тройномъ кривошипѣ* каждый изъ нихъ насаживается на валъ подъ угломъ 120° къ остальнымъ. При этомъ два кривошипа могутъ быть заклинены на концахъ вала; третій же долженъ быть поставленъ въ средней части, что невозможно, ибо тогда продолженіе вала будетъ мѣшать движенію шатуна. Въ подобныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ устройству *колѣнчатаго вала* (фиг. 86). Каждая вѣтвь колѣна представляетъ кривошипъ, соединенный съ другимъ общею цапфою, на которую надѣвается головка шатуна; эта цапфа носитъ названіе *шейки* вала. Колѣнчатые валы дѣлаются съ однимъ, двумя или нѣсколькими колѣнами, и приготовляются изъ желѣза или стали.

77. Эксцентрики. Эти механизмы имѣютъ видъ дисковъ, съ болѣе или менѣе правильнымъ контуромъ, и служатъ для преобразованія вращательнаго движенія въ прямолинейное качательное, законъ котораго можетъ быть совершенно произвольный. Поэтому существуетъ весьма большое число этихъ механизмовъ. Мы ограничимся разсмотрѣніемъ наиболѣе употребительныхъ изъ нихъ.

На фиг. 87 представленъ *круглый эксцентрикъ*. Онъ состоитъ изъ диска или шайбы E, заклиненнаго на валу O, центръ котораго не совпадаетъ съ центромъ C диска; поэтому дискъ E получилъ названіе *эксцентрика*. Разстояніе OC между центрами вала и диска наз. *эксцентриситетомъ*. Эксцентрикъ отливается обыкновенно изъ чугуна и снабжается вырѣзами, для уменьшенія вѣса. Иногда, для удобства надѣванія на валъ, дѣлаютъ эксцентрикъ изъ двухъ отдѣльныхъ половинокъ, скрѣпляемыхъ болтами.



Фиг. 87.

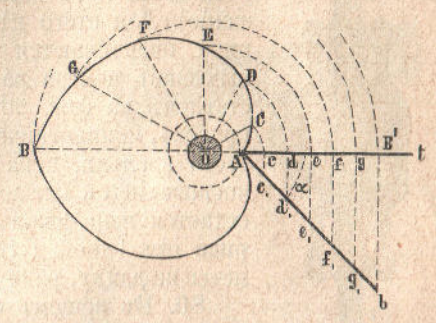
Ободъ эксцентрика плотно охваченъ *хомутомъ* или *бугелемъ* AA, внутри котораго эксцентрикъ можетъ вращаться. Хомутъ дѣлается изъ чугуна, желѣза или латуни и составляется всегда изъ двухъ

полуколецъ, стягиваемыхъ болтами. Хомутъ долженъ быть тщательно пришлифованъ къ диску и, въ предупрежденіе соскакиванія, снабжается выступомъ, входящимъ въ выемку, сдѣланную въ дискѣ. Между хомутомъ и дискомъ нерѣдко помѣщается бронзовая прокладка.

При помощи болтовъ D,D хомутъ соединяется съ *эксцентриковою тягою* T (обыкновенно желѣзною—прямоугольнаго сѣченія), *которая* при вращеніи эксцентрика *передвигается то въ ту, то въ другую сторону на величину удвоеннаго эксцентрицитета* r, подобно тому какъ въ механизмѣ кривошипа и шатуна конецъ послѣдняго перемѣщается при вращеніи кривошипа взадъ—впередъ на величину, равную удвоенной длинѣ кривошипа. Это ясно изъ того, что въ сущности крупный эксцентрикъ представляетъ лишь видоизмѣненіе кривошипа: его можно разсматривать какъ кривошипъ, діаметръ пуговки котораго увеличенъ до того, что послѣдняя охватываетъ тѣло кривошипа, втулку его и валъ, на которомъ онъ заклиненъ, такъ что всѣ части кривошипа оказываются слитыми въ кругломъ эксцентрикѣ въ одно цѣлое въ видѣ диска. Слѣдовательно, теорія дѣйствія такого эксцентрика нисколько не отличается отъ теоріи механизма кривошипа и шатуна, т. е. *передача движенія будетъ неравномѣрная* и путь, проходимый концомъ эксцентриковой тяги въ теченіе полуоборота будетъ равенъ 2r, гдѣ r есть эксцентрицитетъ OC эксцентрика, при чемъ, такъ какъ эксцентрицитетъ можно сдѣлать весьма малымъ, независимо отъ діаметра вала, то *помощью эксцентрика можно сообщить тягѣ*, а, слѣд., и соединенному съ ея концомъ механизму, *весьма малый ходъ.* Другое преимущество круглаго эксцентрика передъ кривошипомъ заключается въ томъ, что онъ можетъ быть заклиненъ въ какомъ угодно мѣстѣ вала, тогда какъ кривошипъ можетъ быть поставленъ только на концахъ его.

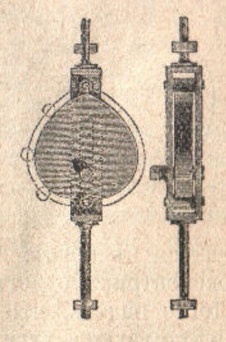
Но эксцентрикъ не можетъ служить для обратнаго преобразованія прямолинейнаго качательнаго движенія стержня T въ непрерывное вращательное движеніе вала, потому что давленіе, которое необходимо было бы произвести для этого въ направленіи AT, послужило бы къ увеличенію тренія между хомутомъ и ободомъ эксцентрика и не могло бы вращать эксцентрикъ. Наконецъ, работа тренія въ случаѣ эксцентрика гораздо болѣе, нежели при кривошипѣ. Дѣйствительно, во время одного оборота вала пуговка кривошипа и дискъ эксцентрика совершаютъ одинъ полный оборотъ, первая въ головкѣ шатуна, второй въ хомутѣ; слѣд., окружность $2\pi r_1$ поперечнаго сѣченія пуговки и окружность $2\pi r_2$ диска представятъ пути, проходимые въ теченіе одного оборота вала треніемъ, существующимъ на поверхности пуговки или диска; поэтому ясно, что работа этого тренія, при равенствѣ самаго тренія, въ случаѣ эксцентрика будетъ значительно болѣе, нежели въ случаѣ кривошипа (она достигаетъ до 45—50% передаваемой эксцентрикомъ работы). Вслѣдствіе этого эксцентрикъ употребляется только для передачи небольшихъ усилій, при которыхъ на хомутѣ возбуждается незначительное треніе (преимущественно для передачи движенія парораспредѣлительнымъ механизмамъ паровыхъ машинъ).

78. Сердцевидный эксцентрикъ (фиг. 88). Предположимъ, что требуется *преобразовать равномѣрное вращательное движенiе вала* O *въ прямолинейное качательное движенiе стержня* AB', *совершающееся по опредѣленному закону*. Для этого на валъ O сажаютъ эксцентрикъ AB съ симметричнымъ контуромъ, который, вращаясь, сообщитъ соприкасающемуся съ нимъ стержню прямолинейное движенiе. Форма контура эксцентрика зависитъ отъ закона движенiя стержня. Опредѣлимъ очертанiе эксцентрика для случая *равномѣрнаго* движенiя стержня. Пусть AB' будетъ длина полнаго перемѣщенiя стержня въ одну сторону, когда валъ сдѣлаетъ полъоборота. *Представимъ графически законъ движенiя стержня*. Для этого замѣтимъ, что такъ какъ валъ вращается равномѣрно, то равнымъ угламъ поворота его будутъ соотвѣтствовать равныя времена движенiя стержня, причемъ полный размахъ AB' онъ совершитъ во время, соотвѣтствующее полъ-обороту вала. Опишемъ теперь изъ центра O окружность OA и, раздѣлимъ ее



Фиг. 88.

на нѣсколько равныхъ частей, например, на 12. По линiи At, какъ оси временъ, отложимъ длину AB' [1]), соотвѣтствующую времени полуоборота вала, и затѣмъ, возставивъ изъ точки B' перпендикуляръ B'b, равный полному перемѣщенiю AB' стержня, соединимъ точки A и q прямою Ab, которая представитъ законъ равномѣрнаго движенiя стержня, а tang. угла α — скорость этого движенiя. Раздѣлимъ время AB' на 6 равныхъ частей и изъ точекъ дѣленiя возставимъ перпендикуляры $cc_1, dd_1, \ldots$, которые выразятъ пути, пройденные стержнемъ въ теченiе $^1/_6$, $^2/_6 \ldots$ полуоборота вала. Отложимъ затѣмъ длины $cc_1, dd_1 \ldots$ по продолженiю послѣдовательныхъ радiусовъ окружности OA; соединивъ найденныя такимъ способомъ точки C, D, E... кривою ACDEFGB, получимъ очертанiе эксцентрика, при которомъ стержень будетъ двигаться равномѣрно. Дѣйствительно, при поворотѣ вала на $^1/_6$ полуоборота, точка C придетъ въ c, причемъ стержень продвинется на длину $Ac = cc_1$; при поворотѣ вала на $^2/_6$ полуоборота точка D придетъ въ d, причемъ стержень продвинется на длину $Ad = dd_1$ и т. д. Слѣдовательно, движенiе стержня будетъ равномѣрно—перiодическое. Съ противоположной стороны эксцентрикъ будетъ очерченъ совершенно симметричною кривою, которая будетъ соотвѣтствовать обратному ходу стержня. По формѣ контура [2]) эксцентрикъ получилъ названiе *сердцевиднаго* или *сердечника*.


Фиг. 89.

На фиг. 89 представлено расположенiе сердцевиднаго эксцентрика, употребляемое на практикѣ. Эксцентрикъ нажимаетъ на ролики, прикрѣпленные къ рамѣ, внутри которой помѣщенъ сердечникъ. Поэтому необходимо полученное выше геометрическое очертанiе замѣнить кривою, равноотстоящею отъ пер-

[1]) Для простоты чертежа отрѣзокъ, выражающiй время полуоборота, взятъ равнымъ длинѣ хода стержня.

[2]) Кривая контура есть *архимедова спираль*. Точки этой кривой полу-

вой на длину, равную радіусу роликовъ; въ угловыхъ точкахъ обѣ спирали должны быть сопряжены дугами круговъ того же радіуса.

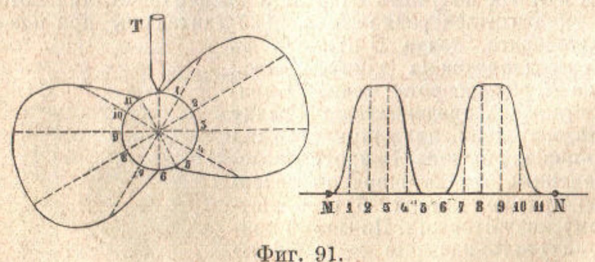
79. Кулачные эксцентрики. Кулачные эксцентрики употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда движеніе стержня должно происходить не непрерывно въ продолженіе одного оборота вала, а съ остановками (перемежающееся движеніе). Для этого нѣкоторыя части контура эксцентрика очерчиваются по круговымъ дугамъ, описаннымъ изъ центра вала. Подобный эксцентрикъ представленъ на фиг. 90. Кривыя m, n, p, q суть дуги круговъ, концентрическихъ съ валомъ B. Въ теченіе всего времени, пока ролики C находятся въ соприкосновеніи съ каждою изъ этихъ дугъ, стержень DD остается неподвижнымъ; но, при поворотѣ эксцентрика отъ одной дуги до другой, стержень передвинется на длину, равную разности радіусовъ этихъ дугъ.



Фиг. 90.

80. Въ общемъ случаѣ, для нахожденія очертанія кулачнаго эксцентрика, надо сначала построить графически *законъ движенія* тяги (подобно тому, какъ это было сдѣлано для сердцевиднаго эксцентрика, § 78) и затѣмъ отложить ординаты кривой разстояній по продолженіямъ соотвѣтствующихъ радіусовъ окружности, которой радіусъ равенъ разстоянію отъ центра вала до ближайшей мертвой точки тяги. Соединивъ концы этихъ радіусовъ, получимъ искомый профиль кулачнаго эксцентрика.

Положимъ, напр., что стержень T (фиг. 91) долженъ дѣлать два двойныхъ размаха въ теченіе одного оборота вала; что въ теченіе $^1/_6$ своего хода онъ долженъ двигаться равномѣрно-ускоренно, въ теченіе слѣдующей $^1/_6$ хода—равномѣрно - замедленно, въ слѣдующую $^1/_6$ часть хода—долженъ оставаться въ покоѣ; тѣ же фазы—при обратномъ ходѣ. Кулачный эксцентрикъ будетъ имѣть очертаніе, представленное на фиг. 91. Легко видѣть, что періодамъ остановокъ тяги на эксцентрикѣ соотвѣтствуютъ дуги круговъ, описанныхъ изъ центра вала.

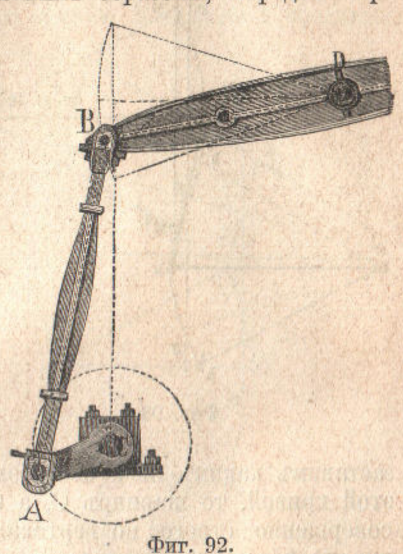


Фиг. 91.

81. Коромысло или балансиръ. *Коромысломъ* наз. чугунный

чатся въ пересѣченіяхъ окружностей, проведенныхъ изъ центра O черезъ точки дѣленій хода AB′ съ соотвѣтствующими радіусами эксцентрика.

или желѣзный рычагъ BD (фиг. 92), качающійся около оси D; качательное движеніе коромысло получаетъ отъ штока пароваго поршня и преобразуетъ его другимъ концомъ въ круговое непрерывное движеніе главнаго вала машины. Такимъ образомъ, передача при посредствѣ коромысла заключаетъ въ себѣ: 1) преобразованіе прямолинейнаго качательнаго движенія въ круговое качательное и 2) преобразованіе круговаго качательнаго движенія въ круговое непрерывное. Первое осуществляется при помощи такъ наз. *параллелограммовъ* (§ 82); второе—при помощи механизма шатуна и мотыля. Конецъ B коромысла снабжается двустороннею цапфою, на которую надѣвается вилка шатуна AB, сочлененнаго другимъ концомъ съ кривошипомъ CA. Въ то время какъ верхній конецъ шатуна движется по дугѣ круга, нижній описываетъ полныя окружности, заставляя мотыль вращаться около оси C. Изслѣдованіе движенія конца B шатуна можетъ быть произведено пріемомъ, аналогичнымъ указанному въ § 74.



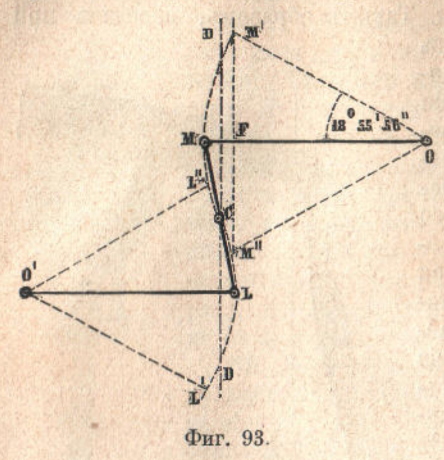
Фиг. 92.

82. Направляющіе параллелограммы. Общее названіе *параллелограммовъ* носятъ механизмы, при помощи которыхъ конецъ штока соединяется съ концомъ коромысла. Назначеніе ихъ состоитъ въ томъ, чтобы заставить штокъ двигаться по прямой линіи, въ то время какъ конецъ коромысла описываетъ дугу круга. Если бы конецъ штока былъ соединенъ непосредственно съ концомъ коромысла, то при движеніи послѣдняго по дугѣ круга штокъ неизбѣжно уклонялся бы отъ прямолинейнаго направленія. Послѣдствіемъ этого явилось бы одностороннее истираніе горловины (*сальника*), сдѣланной въ крышкѣ пароваго цилиндра для прохода штока, и образованіе зазора между штокомъ и стѣнками сальника, черезъ который дѣйствующій въ цилиндрѣ паръ сталъ бы выходить изъ цилиндра.

Существуетъ нѣсколько различныхъ устройствъ параллелограммовъ. Наиболѣе употребительный изъ нихъ есть параллелограммъ Уатта, изобрѣтателя паровыхъ машинъ.

83. Сокращенный параллелограммъ Уатта. Пусть OM (фиг. 93) будетъ среднее (горизонтальное) положеніе коромысла, OM′ и OM″—крайнія его положенія, симметричныя по отношенію къ OM и со-

отвѣтствующія началу и концу хода поршня. Раздѣлимъ стрѣлку MF дуги M′MM″ пополамъ и черезъ точку дѣленія проведемъ прямую DD, параллельную хордѣ M′M″. Примемъ эту прямую за направленіе оси пароваго цилиндра. Къ концу M коромысла подвѣсимъ на шарнирѣ стержень ML и укрѣпимъ въ серединѣ его C шарниръ, къ которому подвѣсимъ конецъ штока. Стержень ML носитъ названіе *серьги*.



Фиг. 93.

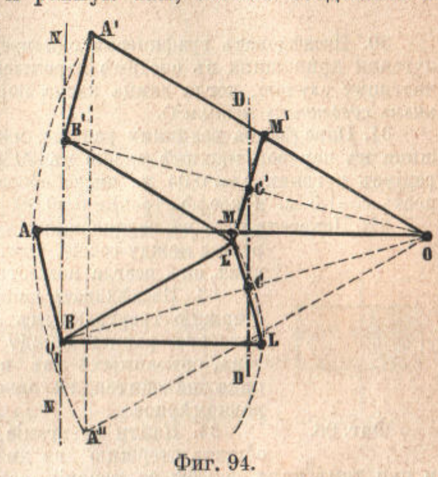
Если привести коромысло въ движеніе, заставляя точку C оставаться постоянно на вертикальной прямой DD, то конецъ L серьги опишетъ кривую, которую не трудно построить по точкамъ, вычертивъ коромысло въ различныхъ его положеніяхъ; и обратно, если заставимъ какимъ-либо способомъ конецъ L серьги двигаться по этой кривой, то шарниръ C, а за нимъ и штокъ, будутъ двигаться совершенно строго по вертикали DD, слѣд., механизмъ будетъ вполнѣ удовлетворять своему назначенію.

На самомъ дѣлѣ конецъ L серьги заставляютъ двигаться не по точной кривой, что было бы затруднительно, а по дугѣ круга, проходящаго черезъ три его положенія (среднее и два крайнія) L, L′ L″, для чего конецъ L серьги соединяютъ посредствомъ тяги O′L, наз. *контръ-балансиромъ* (также *прямиломъ, возжею*) съ центромъ O′ этого круга. Контръ-балансиръ устанавливается обыкновенно такимъ образомъ, что при горизонтальномъ положеніи коромысла OM, онъ занимаетъ также горизонтальное положеніе.

Механизмъ такого устройства наз. *одиночнымъ* или *сокращеннымъ параллелограммомъ Уатта.* Точки M и L серьги будутъ двигаться по окружностямъ OM и O′L, но середина ея C, къ которой привѣшенъ конецъ штока, будетъ двигаться не строго по вертикали NN, а будетъ описывать кривую линію, близкую къ вертикали. Чтобы уклоненія отъ вертикальной линіи не были велики, углы, описываемые коромыслами при размахѣ поршня, не должны быть значительны. Но это радіусы OM и O′L дѣлаютъ довольно длинные, именно въ 1,5 раза больше длины хода поршня, который равенъ хордѣ M′M″; тогда уголъ размаха коромысла равенъ 37°50′56″. Длину серьги дѣлаютъ равною $^1/_2$ до $^3/_7$ хода поршня. При этомъ уклоненія конца поршня отъ вертикальной линіи такъ

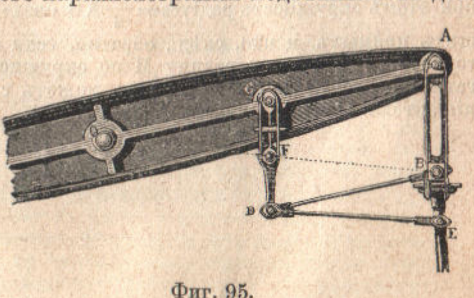
малы, что едва могутъ быть замѣчены наблюденіемъ надъ дѣйствительнымъ движеніемъ механизма [1]).

84. Полный параллелограммъ Уатта. Продолжимъ коромысло OM (фиг. 94) на длину AM=OM и подвѣсимъ къ концу A вторую серьгу AB, параллельную и равную ML; затѣмъ соединимъ B и L тягою BL, параллельною OA; получимъ параллелограммъ ABML. Линія OB проходитъ черезъ середину C серьги ML. Такъ какъ всѣ стержни сочленены шарнирами, то параллелограммъ ABML останется таковымъ при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ коромысла. Треугольники OMC и OAB будутъ постоянно подобны между собою, и, слѣд., точка B будетъ описывать кривую линію, подобную кривой, описываемой точкой C, т. е. будетъ двигаться по вертикальной прямой NN [2]). Длину плеча OA коромысла дѣлаютъ обыкновенно въ 1,5 раза больше хода поршня, равнаго хордѣ $A'A''$. Къ точкѣ B подвѣшиваютъ штокъ поршня, а къ точкѣ C штокъ воздушнаго насоса.



Фиг. 94.

На практикѣ вмѣсто одного параллелограмма подвѣшиваютъ два: съ одной и съ другой стороны коромысла (фиг. 95). Двѣ вершины, проектирующіяся въ B, соединяются горизонтальною осью къ серединѣ которой подвѣшивается штокъ поршня; точно также середины серегъ C соединяютъ болтомъ, служащимъ для подвѣшиванія штока воздушнаго насоса. Концы прямилъ укрѣпляются къ двумъ отдѣльнымъ



Фиг. 95.

[1]) По наблюденіямъ *Прони*, при длинѣ коромысла $l = 2{,}515$ м. и длинѣ серьги $l' = 0{,}762$ м., уклоненія конца штока составляютъ всего около 2 мм.

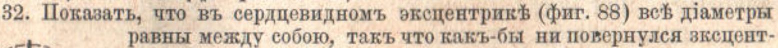
[2]) Это ясно изъ подобія △-овъ $OA'B'$, $OM'C$ и OAB, OMC, изъ которыхъ находимъ: $\frac{OC'}{OB'} = \frac{OC}{OB}$, т. е. прямая CC' соединяющая два какія-либо положенія точки C, параллельна прямой, соединяющей два соотвѣтствующія положенія точки B; слѣд., если точка C движется по вертикали, то точка B опишетъ тоже вертикальную прямую.

болтамъ O', задѣланнымъ въ станинѣ машины; между этими двумя болтами остается промежутокъ, достаточный для прохода штока.

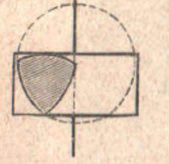
ЗАДАЧИ.

30. Изслѣдовать графически одновременное движенiе конца коромысла и пуговки кривошипа въ системѣ коромысла, шатуна и мотыля. Примѣнить къ частному случаю, когда длина плеча коромысла равна длинѣ мотыля (*механизмъ сдвоенныхъ мотылей*).

31. Опредѣлить величину работы, поглощаемой тренiемъ пуговки кривошипа въ паровой машинѣ силою въ 30 пар. лош., при слѣдующихъ данныхъ: радiусъ пуговки $r = 0{,}04$ м., число оборотовъ машины $n = 30$, средняя скорость $c=1{,}5$ м. и коефф. тренiя $f=0{,}08$.



32. Показать, что въ сердцевидномъ эксцентрикѣ (фиг. 88) всѣ дiаметры равны между собою, такъ что какъ-бы ни повернулся эксцентрикъ, онъ всегда помѣстится въ своей рамкѣ.



Фиг. 96.

33. Изслѣдовать движенiе (построить законъ), сообщаемое стержню треугольнымъ эксцентрикомъ (фиг. 96), стороны котораго равны между собою и представляютъ дуги круговъ, описанныхъ изъ вершинъ. Центръ вращенiя эксцентрика находится въ одной изъ его вершинъ; движенiе вала равномѣрное.

34. Найти очертанiе эксцентрика, который долженъ сообщить стержню два двойныхъ размаха (въ 1 оборотъ вала) и при томъ такъ, чтобы въ теченiе каждаго хода стержня его движенiе было ускоренное въ теченiе $^1/_3$ хода, въ слѣдующую треть—замедленное и въ остальную $^1/_3$ онъ оставался-бы въ покоѣ.

35. Прямая AB движется однимъ концомъ A по вертикальной прямой, а другимъ B по горизонтальной. Показать, что средина M прямой AB опишетъ при этомъ окружность радiуса$=\frac{1}{2}$AB около точки O пересѣченiя направляющихъ прямыхъ, и что, слѣд., обратно, если заставимъ точку B двигаться по горизонт. прямой, а середину M по окружности OM, то точка A будетъ двигаться по вертикали и механизмъ можетъ служить для направленiя движенiя штока (*параллелограммъ Эванса*).

II.

МАШИНЫ-ДВИГАТЕЛИ.

---

85. Подраздѣленіе машинъ-двигателей. Смотря по роду естественныхъ энергій, служащихъ двигателями, *машины-двигатели* (моторы) могутъ быть раздѣлены на слѣдующія группы:

1. *Пріемники живыхъ двигателей,* преобразующіе въ полезную работу мускульную энергію людей и животныхъ.

Источникомъ мускульной силы животныхъ служитъ, какъ мы видѣли животная теплота, выдѣляющаяся вслѣдствіе химическихъ процессовъ, сопровождающихъ процессы пищеваренія и дыханія. Живые двигатели представляютъ самый простой и древнѣйшій источникъ механической работы, но въ то же время это самые слабые и дорогіе двигатели. Поэтому теперь кругъ примѣненія живыхъ двигателей ограничивается лишь случаями исключительными.

2. *Гидравлическіе моторы*, преобразующіе въ полезную работу энергію падающей или текущей воды.

Гидравлическіе моторы представляютъ собою однѣ изъ самыхъ экономическихъ и совершенныхъ машинъ-двигателей. Эти пріемники утилизируютъ въ настоящее время сравнительно лишь весьма небольшую часть всей энергіи движущейся воды, имѣющейся въ природѣ, ибо пользованіе этимъ даровымъ двигателемъ находится въ зависимости отъ мѣстныхъ условій. Изобрѣтеніе проволочныхъ канатовъ даетъ однако возможность устранить отчасти неудобство мѣстныхъ условій и расширить кругъ примѣненія этого двигателя, передавая работу на далекія разстоянія, съ цѣлью утилизировать ее въ большемъ числѣ приложеній. Примѣръ этому представляетъ возникновеніе многихъ фабрикъ и заводовъ около селенія Бельгардъ во Франціи, утилизирующихъ помощью телединамическихъ кабелей энергію Ронскаго водопада, а также созданіе промышленнаго центра около Ніагарскаго водопада.

3. *Пріемники вѣтра*, преобразующіе въ полезную работу энергію вѣтра.

Хотя вѣтеръ представляетъ самый распространенный и экономическій двигатель, однако пользованіе имъ весьма ограничено, главнымъ образомъ вслѣдствіе чрезвычайной неправильности его дѣйствія, происходящей отъ частыхъ и иногда рѣзкихъ перемѣнъ какъ величины, такъ и направленія

его скорости. Эта неправильность дѣлаетъ невозможнымъ примѣненіе вѣтра въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется непрерывное и правильное дѣйствіе двигателя. Другой важный недостатокъ вѣтряныхъ пріемниковъ составляетъ то обстоятельство, что они нуждаются въ открытомъ пространствѣ для свободнаго доступа вѣтра. Примѣненіе силы вѣтра для движенія парусныхъ судовъ и жернововъ мукомольныхъ мельницъ было извѣстно еще въ древности. Въ настоящее время ею пользуются еще для движенія насосовъ въ работахъ по орошенію полей и осушенію болотъ. Малосильные вѣтряные пріемники пользуются, особенно въ Америкѣ, широкимъ распространеніемъ, въ сельскохозяйственной промышленности для приведенія въ дѣйствіе различныхъ машинъ, а также на желѣзныхъ дорогахъ для водокачекъ.

4. *Термодинамическія машины*, преобразующія въ полезную работу энергію топлива.

Изъ этихъ машинъ-двигателей наибольшее промышленное значеніе имѣютъ *паровыя машины*: громадное большинство фабрикъ и заводовъ приводится въ движеніе силою пара [1]). Преимущество пароваго двигателя состоитъ въ его удобопримѣняемости при всевозможныхъ условіяхъ, хотя пользованіе имъ требуетъ, подобно тому какъ и пользованіе живыми двигателями, безпрерывныхъ издержекъ, вызываемыхъ потребленіемъ топлива; но эти издержки несравненно менѣе тѣхъ, какія потребовались бы для людей и животныхъ, собранныхъ для произведенія работы, равной работѣ паровой машины.

Къ термодинамическимъ пріемникамъ, кромѣ паровыхъ машинъ, принадлежатъ: 1) *калорическія* машины, дѣйствующія упругою силою нагрѣтаго воздуха, 2) *газовыя* машины, дѣйствующія силою упругости, развивающеюся при сгораніи въ закрытомъ пространствѣ газовой взрывчатой смѣси (воздуха и свѣтильнаго газа). Главныя преимущества этихъ машинъ передъ паровыми заключаются въ полной безопасности работы, небольшомъ помѣщеніи, необходимомъ для ихъ установки, отсутствіи надзора во время ихъ дѣйствія и проч. Всѣ эти преимущества играютъ особенно важную роль *въ мелкой промышленности*, гдѣ эти машины и нашли себѣ быстрое распространеніе, не смотря на изобрѣтеніе многихъ типовъ паровыхъ двигателей, предназначенныхъ для малосильныхъ работъ, въ видѣ различнаго рода локомобилей и полулокомобилей, отличающихся простотою устройства и компактностью. Большую аналогію съ калорическими и газовыми машинами представляютъ появившіяся въ недавнее время *нефтяныя машины*, дѣйствующія упругостью горячихъ газовъ, образующихся при сожиганіи нефтяныхъ остатковъ въ замкнутомъ пространствѣ. Однако онѣ имѣютъ сравнительно еще ограниченное практическое примѣненіе.

Изъ другихъ двигателей, кромѣ упомянутыхъ выше 4 родовъ, наиболѣе извѣстны въ практикѣ *электрическіе* и *пружинные*.

5. *Электрическіе двигатели*. Эти двигатели принадлежатъ къ числу *вторичныхъ* двигателей (§ 3); они могутъ только преобразовывать и передавать энергію, принятую отъ какого-нибудь другаго двигателя, съ извѣстною потерею (на безполезныя сопротивленія).

Изъ электрическихъ двигателей наибольшее распространеніе получили такъ наз. *динамоэлектрическія машины* или *динамомашины*, состоящія изъ двухъ главныхъ органовъ: 1) *индуктора*, т. е. органа, производящаго ин-

---

[1]) Въ настоящее время на земномъ шарѣ имѣется паровыхъ машинъ (постоянныхъ, локомотивовъ и пароходныхъ) общею силою болѣе 50 милл. пар. лош., расходующихъ свыше 150 милл. тоннъ топлива ежегодно.

дукцію тока и 2) *индукціоннаго аппарата*, въ которомъ развиваются наведенные токи. Заставляя вращаться индукторъ передъ индукціоннымъ аппаратомъ, или, чаще, послѣдній передъ первымъ, получаютъ токи, тѣмъ болѣе сильные, чѣмъ больше скорость вращенія. Главное примѣненіе динамомашины, находятъ въ *гальванопластикѣ, электрическомъ освѣщеніи* и *въ передачѣ энергіи на значительныя разстоянія*. Послѣдняя основана на слѣдующемъ *принципѣ обратимости* динамоэлектрическихъ машинъ: *Машина, приведенная въ движеніе, производитъ токъ, и, наоборотъ, если ей сообщить токъ то она пріобрѣтетъ движеніе.* Ни одинъ изъ извѣстныхъ способовъ передачи работы на большія разстоянія (канализація пара и сжатаго воздуха [1]), телединамическіе кабели) не даетъ такого полнаго рѣшенія вопроса какъ электричество, которое съ помощью органовъ, крайне простыхъ, можетъ доставить, смотря по надобности, или теплоту, или свѣтъ, или двигательную силу, или химическое дѣйствіе.

6. *Пружинные двигатели.* Эти двигатели принадлежатъ, подобно электрическимъ, къ числу *вторичныхъ* двигателей. По незначительности передаваемой работы, ибо въ одномъ килограммѣ закаленной стали можно заключить не болѣе 15—18 к. м. работы, безъ опасенія перейти предѣлъ упругости, и кратковременности дѣйствія они имѣютъ для промышленности второстепенное значеніе.

Гораздо большее практическое значеніе, какъ вторичный двигатель имѣетъ *сжатый воздухъ*, дѣйствіе котораго аналогично съ работою пара той же упругости. Изъ извѣстныхъ примѣненій сжатаго воздуха укажемъ на пользованіе имъ для движенія локомотивовъ по городскимъ улицамъ, подводныхъ лодокъ, для движенія вагоновъ въ тоннелѣ подъ Темзою, сверлильныхъ приборовъ [2]), употребляемыхъ при прорытіи тоннелей и т. п.

86. Свойства двигателей имѣютъ такое вліяніе на устройство пріемниковъ ихъ работы, что для каждаго изъ нихъ можетъ быть найдено только извѣстное устройство пріемника, соотвѣтствующее условіямъ наивыгоднѣйшаго дѣйствія двигателя. Поэтому, для изученія пріемниковъ (машинъ-двигателей) необходимо имѣть ясное

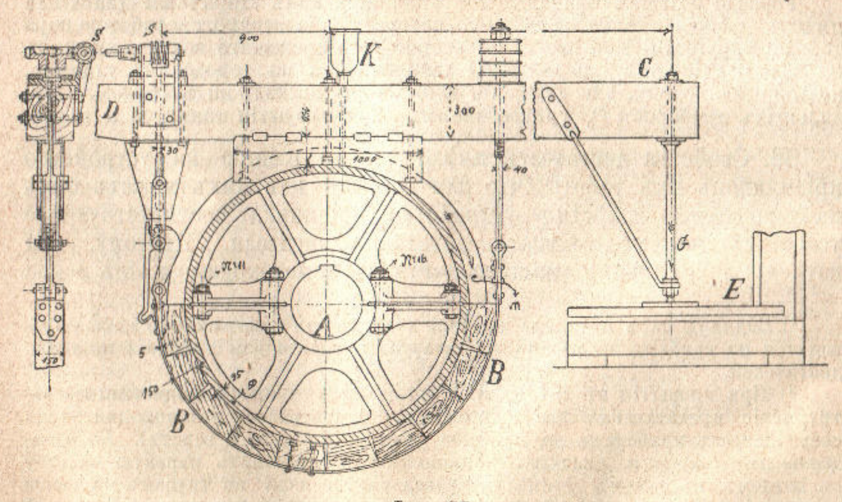
---

[1]) Водяной паръ и сильно сжатый воздухъ изъ центральнаго зданія проводятся по трубамъ въ различные кварталы города для дѣйствія машинъ, двигателей.

[2]) При прорытіи въ 1873 г. С.-Готтардскаго тоннеля существенное затрудненіе представляла необходимость передать работу машины-двигателя сверлильнымъ приборамъ на огромное разстояніе (болѣе 6 верстъ). *Во избѣжаніе порчи воздуха*, оказалось невозможнымъ установить паровую машину съ котломъ въ самомъ тоннелѣ; проведеніе же пара по трубамъ на такое разстояніе, а также примѣненіе телединамической передачи, требовавшей большаго числа шкивовъ, было весьма непрактично. Послѣ многихъ опытовъ остановились на сжатомъ воздухѣ. Особыми насосами наз *компрессорами*, которые приводились въ движеніе тюрбинами, воздухъ нагнетался въ большіе резервуары, склепанные изъ котельнаго желѣза и напоминавшіе своимъ наружнымъ видомъ паровые котлы. Упругость воздуха въ этихъ резервуарахъ-котлахъ доходила до 7—8 атм. По мѣрѣ наполненія, резервуары подвозились воздушными локомотивами по рельсамъ къ мѣсту работы и приводились въ сообщеніе при помощи каучуковыхъ трубокъ со сверлильными и др. приборами, въ которыхъ воздухъ дѣйствовалъ на поршень цилиндра, подобно тому, какъ паръ дѣйствуетъ на паровой поршень.

понятіе о тѣхъ усиліяхъ, отъ дѣйствія которыхъ пріемники эти получаютъ свое движеніе. Слѣдовательно, изученію пріемниковъ должно предшествовать изученіе двигателей, которое должно состоять въ изслѣдованіи *свойствъ* двигателя, *способовъ*, какими онъ можетъ дѣйствовать, въ опредѣленіи *величины силы*, какую онъ можетъ обнаружить въ каждый моментъ, и *количества энергіи* (запаса работы), которымъ можно воспользоваться въ данное время для движенія пріемника *Зная запасъ работы двигателя, мы въ состояніи будемъ судить о достоинствѣ пріемника, сравнивая работу двигателя съ полезною работою пріемника, т. е. тою частью энергіи двигателя, которую данная машина-двигатель можетъ передать рабочимъ машинамъ*. Одинъ изъ употребительнѣйшихъ приборовъ для измѣренія полезной работы различныхъ моторовъ (гидравлическихъ колесъ, паровыхъ машинъ и пр.) есть такъ наз. *нажимъ Прони*, знаменитаго фр. инженера, изобрѣтенный имъ въ 1821 г.

87. Нажимъ Прони. Начало, на которомъ основано измѣреніе полезной работы нажимомъ Прони, чрезвычайно просто и состоитъ въ слѣдующемъ. Сумма всѣхъ работъ, производимыхъ рабочими машинами, получающими движеніе отъ вала машины—двигателя



Фиг. 97.

и всѣхъ живыхъ силъ, которыя пріобрѣтаются въ этихъ машинахъ, составляетъ *полезную работу* T_u, передаваемую валомъ машины — двигателя. Представимъ себѣ, что всѣ рабочія машины отцѣплены отъ приводнаго вала; тогда скорость v послѣдняго станетъ увеличиваться. Предположимъ затѣмъ, что вмѣсто рабочихъ машинъ введено какое-нибудь сопротивленіе, работу котораго легко измѣрить, напр., треніе, и пусть при этомъ движеніе вала

происходитъ съ тою же скоростью v, какъ въ первомъ случаѣ. Ясно, что работа этого сопротивленія равна работѣ T_u, затрачиваемой на приведеніе въ движеніе исполнительныхъ механизмовъ.

На фиг. 97 представленъ *нажимъ Прони*, служившій проф. *Радингеру* при испытаніи, на ремесленной выставкѣ въ Дюссельдорфѣ въ 1880 г., паровыхъ машинъ силою отъ 30—100 пар. л. Главныя части его составляютъ: колесо A (разрѣзное), которое насаживается на главный валъ испытуемой машины, дубовыя тормозныя *подушки* B,B, уложенныя на протяженіи нижней полуокружности желобчатаго обода колеса A и поддерживаемыя стальною полосой, концы которой пропущены сквозь *рычагъ* DC. Натяженіе тормозной полосы производится при помощи винтоваго механизма MS. При вращеніи колеса A между его ободомъ и подущками возбуждается значительное треніе, такъ что колесо стремится увлечь съ собою и рычагъ CD, который при посредствѣ стержня CG производитъ давленіе на платформу десятичныхъ вѣсовъ E. Полоса B натягивается постепенно, пока скорость вращенія получится такая же, какъ и при сцѣпленныхъ рабочихъ машинахъ. Для предупрежденія загоранія дерева должно во время опыта обильно смачивать поверхность обода колеса мыльною водою. Съ этою цѣлью въ рычагѣ и въ верхней подушкѣ дѣлается каналъ съ воронкою K, по которому постоянно притекаетъ мыльная вода.

88. Называя треніе буквою F, радіусъ колеса A буквою r, а число его оборотовъ въ минуту n, получимъ работу тренія въ секунду:

$$T_u = \frac{F 2\pi r . n}{60} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

Для измѣренія величины F уравновѣшиваютъ децимальные вѣсы, пока рычагъ DC не займетъ горизонтальнаго положенія, или, по крайней мѣрѣ, будетъ только немного колебаться около этого положенія. Но для равновѣсія рычага сумма моментовъ всѣхъ силъ, къ нему приложенныхъ, относительно его оси, должна быть равна нулю. Пусть давленіе на платформу будетъ P, а его плечо l; тогда уравненіе равновѣсія будетъ (моментъ собственнаго вѣса тормоза равенъ нулю, ибо рычагъ уравновѣшенный): $Pl - Fr = O$, откуда $Fr = Pl$. Вставляя эту величину въ выраженіе (a), получимъ величину работы, передаваемой валомъ въ секунду:

$$T_u = Pl \frac{2\pi n}{60} = Pl \frac{\pi n}{30},$$

или въ паровыхъ лошадяхъ, если P выражено въ килограммахъ и l въ метрахъ:

$$N = Pl \frac{\pi n}{30.75} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

ГЛАВА IV.

Пріемники живыхъ двигателей.

Живые двигатели и ихъ работа.—Наивыгоднѣйшія величины усилія, скорости и рабочаго дня.—Формула Машека.—Пріемники работы человѣка.—Сложный воротъ.—Равновѣсіе лебедки.—Домкраты.—Краны.—Машина Коанье.—Пріемники работы животныхъ.—Постоянный манежъ.—Переносный манежъ.—Манежъ Баррета.—Манежъ Пине.—Наклонный кругъ.—Американскій топчакъ.—Перевозка грузовъ животными.—Задачи.

89. Живые двигатели и ихъ работа. Къ живымъ двигателямъ относятся человѣкъ и нѣкоторыя домашнія животныя, главнымъ образомъ лошадь и волъ. Способы производства работы живыми двигателями весьма различны: они могутъ работать или при помощи машинъ или безъ нихъ.

Источникъ механической работы живыхъ двигателей заключается въ ихъ мускульной силѣ, которая обусловливается способностью мышцъ сокращаться. Однако эта способность, по свойству организма утомляться, не можетъ проявляться непрерывно и въ одинаковой степени. Подъ вліяніемъ усталости организма она ослабѣваетъ, но можетъ быть снова возстановлена болѣе или менѣе продолжительнымъ отдыхомъ. Въ этомъ заключается существенное отличіе живыхъ двигателей отъ неодушевленныхъ (давленія воды, упругости пара....). Первые не могутъ работать *непрерывно*, но по прошествіи нѣкотораго времени устаютъ и требуютъ отдыха, соотвѣтствующаго затратѣ силъ во время работы, ибо только при этомъ условіи они могутъ работать безъ вреда для своего здоровья.

Напряженіе живыхъ двигателей весьма различно и зависитъ не только отъ породы ихъ, но измѣняется у животныхъ одной и той же породы въ зависимости отъ *сложенія* двигателя, его *возраста*, степени *привычки* къ производству работы, отъ *содержанія*, т. е. отъ ухода за нимъ, *рода работы* и т. п. Такъ какъ эти условія измѣняются до безконечности, то нѣтъ возможности принять ихъ въ соображеніе, поэтому въ дальнѣйшемъ изложеніи мы будемъ предполагать, что животное привычно къ работѣ, средняго возраста, хорошаго состоянія здоровья и хорошо содержится.

Мѣрою при оцѣнкѣ дѣйствія живыхъ двигателей служитъ *суточная работа*. Называя буквою F величину усилія двигателя, буквою v скорость точки приложенія его въ направленіи силы и t число секундъ, заключающихся въ *рабочемъ днѣ*, т. е. во всемъ времени, въ теченіе котораго двигатель работаетъ съ полнымъ усиліемъ, получимъ слѣдующее выраженіе для суточной работы:

$$L = Fvt.$$

На величину суточной работы, сверхъ вышеозначенныхъ усло-

вій, имѣютъ вліяніе: *величина усилія*, *скорости* и *времени работы*, которыя измѣняются вмѣстѣ съ характеромъ работы, а также со способомъ ея производства [1]). Съ измѣненіемъ этихъ величинъ измѣняется и суточная работа; но не трудно видѣть, что для каждаго двигателя и для каждаго рода работы она способна достигнуть наибольшей величины. Въ самомъ дѣлѣ, усиліе F и скорость v имѣютъ свои предѣльныя величины. Опытъ же показываетъ, что двигатель при этихъ наибольшихъ значеніяхъ усилія и скорости можетъ работать только очень короткое время; при томъ если онъ дѣйствуетъ съ наибольшимъ усиліемъ, то скорость его или равна нулю или очень мала. Напр., человѣкъ можетъ оказать наибольшее усиліе стоя на мѣстѣ, т. е. наибольшему F соотвѣтствуетъ $v = 0$, а, слѣд., работа Fvt также равна нулю. Съ другой стороны при наибольшей скорости усиліе, оказываемое двигателемъ, весьма мало, такъ что произведеніе Fvt выходитъ опять весьма мало [2]).

И такъ, при наибольшихъ (и наименьшихъ) величинахъ усилія и скорости величина суточной работы близка къ нулю. Подобное же вліяніе имѣетъ на эту работу и продолжительность суточной работы. Отсюда слѣдуетъ, что для каждаго двигателя, при опредѣленномъ способѣ приложенія его усилія, существуетъ такая система величинъ (среднихъ) F, v и t, при которыхъ ихъ произведеніе, т. е. суточная работа, получаетъ *наибольшую* величину. Эти значенія F, v и t наз. *наивыгоднѣйшими*. Они опредѣляются для каждаго двигателя изъ опыта.

90. Наивыгоднѣйшія величины усилія, скорости и рабочаго дня. Первые опыты надъ работою живыхъ двигателей были произведены *Кулономъ*. Впослѣдствіи данныя, выведенныя имъ изъ опытовъ, были пополнены *Навье*, *Герстнеромъ*, *Машекомъ* и многими другими учеными. Въ слѣдующей таблицѣ сгруппированы важнѣйшія данныя, относящіяся къ работѣ человѣка, лошади и вола.

---

[1]) Напр., напряженіе лошади, везущей телѣгу по шоссе, измѣняется съ вѣсомъ телѣги, состояніемъ шоссе, діаметромъ осей и колесъ, состояніемъ смазки, наклономъ дороги и т. п.; сверхъ того лошадь можетъ везти телѣгу шагомъ, рысью или галопомъ; въ послѣднемъ случаѣ она можетъ работать только очень короткое время и ея сила тяги уменьшается, такъ что произведеніе Fvt, въ которомъ множитель v великъ, а множители F и t весьма малы, можетъ оказаться менѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда лошадь работаетъ съ меньшею скоростью.

[2]) Легко объяснить этотъ фактъ, принявъ въ соображеніе, что усиліе двигателя не все идетъ на побѣжденіе внѣшнихъ сопротивленій: часть его затрачивается на приведеніе въ движеніе массы самого двигателя. Потеря эта тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость движенія, такъ что для каждаго живаго двигателя существуетъ извѣстная скорость, при которой сила тяги его будетъ равна нулю.

РОДЪ РАБОТЫ.	P klg	v м.	Pv к. м.	t час.	Pvt суточная работа въ к. м.
Рабочій поднимается по наклону или по лѣстницѣ; работа состоитъ въ поднятіи собственнаго вѣса (§ 100).	65	0,15	9,75	8	280,800
» тянетъ или толкаетъ по горизонтальному направленію, на ходу. . . .	12	0,60	7,20	8	207,360
» вертитъ рукоятку . .	8	0,75	6,00	8	172,800
» качаетъ рычагъ насоса .	6	0,75	4,50	10	162,000
» поднимаетъ грузъ посредствомъ блока . . .	18	0,20	3,60	6	77,760
» поднимаетъ грузъ на спинѣ по наклону или лѣстницѣ и возвращается безъ груза	65	0,04	2,60	6	56,160
» поднимаетъ грузъ при помощи тачки и возвращается съ порожнею .	60	0,02	1,20	10	43,200
Лошадь, запряженная въ телѣгу, везетъ шагомъ	70	0,90	63,02	10	2,168,000
» работаетъ на конномъ приводѣ шагомъ . . .	45	0,90	40,50	8	1,166,400
Волъ работаетъ на конномъ приводѣ шагомъ	65	0,60	39,00	8	1,123,200

Въ среднемъ выводѣ, работы человѣка, лошади и вола относятся между собою какъ числа 1 : 6 : 5.

Такъ какъ всякое уклоненіе отъ наивыгоднѣйшихъ величинъ силы, скорости и рабочаго дня влечетъ за собою уменьшеніе суточной работы двигателя, то его должно заставлять работать при этихъ наивыгоднѣйшихъ условіяхъ. Впрочемъ, какъ показали многочисленные опыты, небольшія уклоненія отъ наивыгоднѣйшихъ значеній силы, скорости и рабочаго дня не влекутъ за собою замѣтныхъ измѣненій въ величинѣ работы. Одно изъ весьма цѣнныхъ для практики свойствъ живыхъ двигателей заключается въ ихъ способности работать, въ случаѣ надобности, съ усиліемъ или скоростью вдвое и даже вчетверо большими наивыгоднѣйшихъ. Опыты показали, что такое усиліе двигатель можетъ производить безъ вреда для себя, если онъ работаетъ съ остановками, которыя должны повторяться тѣмъ чаще, чѣмъ болѣе усиліе и скорость уклоняются отъ наивыгоднѣйшихъ величинъ.

91. Формула Машека. Выше мы видѣли, что живой двигатель доставитъ наибольшую дневную работу, когда онъ работаетъ при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, т. е. съ наивыгоднѣйшимъ усиліемъ и скоростью. Работая съ другою скоростью, двигатель будетъ производить иное усиліе и суточная работа уменьшится. Взаимныя измѣненія усилія и скорости подчиняются опредѣленному закону, точный выводъ котораго представляетъ однако чрезвычайныя трудности, по невозможности принять въ соображеніе всѣ обстоятельства, имѣющія вліяніе на силу двигателя. Изъ эмпирическихъ формулъ наиболѣе соотвѣтствуетъ дѣйствительности формула, предложенная чешскимъ инж. *Машекомъ*:

$$F' = F\left(3 - \frac{v'}{v} - \frac{t'}{t}\right) \dots\dots\dots (19)$$

гдѣ F, v и t суть наивыгоднѣйшія величины усилія, скорости и времени, приведенныя въ таблицѣ § 90; F'—усиліе, соотвѣтствующее скорости v' и времени t'.

Если рабочій день остается въ предѣлахъ наивыгоднѣйшихъ величинъ (отъ 8 до 10 час.), какъ это обыкновенно и бываетъ, то предыдущая формула получитъ болѣе простой видъ:

$$F' = F\left\{2 - \frac{v'}{v}\right\};$$

а величина суточной работы будетъ:

$$L = 3600\left\{2 - \frac{v'}{v}\right\} F v' t.$$

Эта работа измѣняется вмѣстѣ со способами приложенія усилія двигателя и достигаетъ наибольшей величины $L_{max.} = 3600\ Fvt$ при $v = v'$. Если работа идетъ съ наивыгоднѣйшею скоростью, но лишь въ теченіе короткихъ промежутковъ времени ($t' = o$), за которыми слѣдуютъ промежутки отдыха, то $F' = 2F$, т. е. двигатель можетъ оказать усиліе, вдвое большее наивыгоднѣйшаго. Если при томъ двигатель работаетъ съ весьма малою скоростью, то онъ можетъ развить усиліе втрое болѣе наивыгоднѣйшаго.

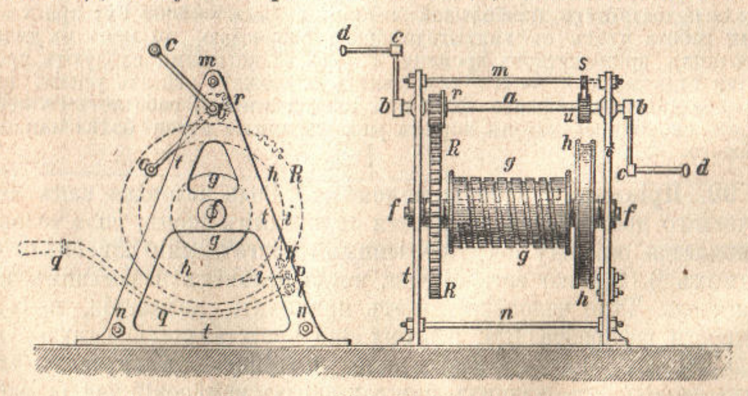
92. Пріемники работы человѣка. Роль человѣка какъ механическаго двигателя сокращается съ каждымъ днемъ: сила человѣка замѣняется повсюду неодушевленными двигателями или силою животныхъ [1]). Однако есть случаи, когда человѣкъ незамѣнимъ, какъ двигатель. Тѣло человѣка можетъ принимать положенія, до безконечности разнообразныя; поэтому оно представляетъ самую удобную машину, какую только можно употребить въ случаяхъ сложныхъ работъ, требующихъ безпрерывныхъ измѣненій усилія, скорости и направленія движенія.

---

[1]) Сравненіе стоимости содержанія живыхъ двигателей съ паровою машиною показываетъ, что работа, равная 1 паровой лошади, доставляемая человѣкомъ, обходится почти въ 12 разъ дороже той же работы, доставляемой паровою машиною, а то же количество работы, доставляемое лошадью, обходится въ 3 раза дороже.

Человѣкъ можетъ произвести механическую работу троякимъ образомъ: мускульною силою *рукъ*, *ногъ и собственнымъ вѣсомъ*. Пріемниками движущей силы рукъ служатъ: 1) *рукоятка*, употребляемая во всѣхъ ручныхъ машинахъ съ непрерывнымъ вращательнымъ движеніемъ, напр., *въ во́ротахъ* (фиг. 98), *домкратахъ* (фиг. 101), *кранахъ* (фиг. 103), 2) *рычагъ* (шпиль, насосы, храповые механизмы...); 3) *ручные инструменты*, употребляемые въ различныхъ ремеслахъ столярномъ, слесарномъ...; наконецъ 4) *веревка*, которою пользуются при поднятіи грузовъ посредствомъ блоковъ, напр., въ обыкновенныхъ копрахъ, служащихъ для вбиванія свай. Движущая сила ногъ находитъ приложеніе въ разнаго рода *педаляхъ* (ножные токарные станки, точильные камни, швейныя машины, кузнечные мѣха....); мускульною же силою ногъ человѣкъ работаетъ при ходьбѣ и передвиженіи грузовъ по горизонтальному направленію. Наконецъ, пріемниками работы *вѣса* человѣка служатъ: машина *Коанье* (фиг. 106) и такъ наз. *ходовыя* или *ступенчатыя* колеса, представляющія во́ротъ, на валу котораго вмѣсто рукоятки насажено деревянное колесо большаго діаметра (до 5 м.), снабженное ступеньками, по которымъ переступаетъ рабочій, оставаясь на одномъ и томъ же мѣстѣ.

93. Сложный воротъ или **лебедка**. Если во́ротомъ требуется преодолѣть большое сопротивленіе, то вводятъ, для выигрыша въ силѣ, систему зубчатыхъ колесъ. Такой сложный во́ротъ носитъ названіе *лебедки* (фиг. 98). Онъ состоитъ изъ двухъ чугунныхъ станинъ t,t, стянутыхъ тремя болтами m,n,n. Лебедка имѣетъ двѣ

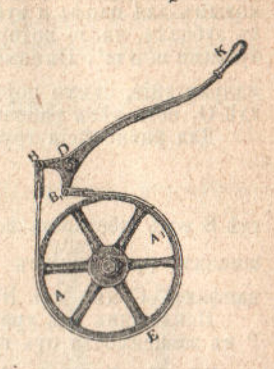


Фиг. 98.

оси: *рабочую a*, снабженную двумя рукоятками d,d и шестернею r, и *грузовую* ff, на которой насажены: большое зубчатое колесо R, сцѣпляющееся съ шестернею r, и пустотѣлый чугунный барабанъ g, гладкій, если на него наматывается канатъ и снабженный винтовою канавкою (для помѣщенія звеньевъ обыкновенной цѣпи), если

на него наматывается цѣпь. Собачка s, подвѣшенная къ болту m входитъ между зубьями храповаго колеса u и препятствуетъ обратному движенію груза при остановкѣ двигателя.

Для замедленія спусканія груза лебедка снабжается *тормозомъ* h, устройство котораго показано отдѣльно на фиг. 99. Онъ состоитъ изъ колеса AA_1, охватываемаго гибкою стальной полосою BEB_1. Концы полосы прикрѣплены къ оконечностямъ колѣнчатаго рычаго BDK, вращающагося около неподвижной оси D. Нажиманіемъ внизъ конца K рычага возбуждается сильное треніе между стальной полосою и ободомъ тормознаго колеса, способное поглотить значительное количество движущей работы.



Фиг. 99.

Смотря по числу рабочихъ, *рукоятки* дѣлаются одиночныя или двойныя; въ послѣднемъ случаѣ рукоятки располагаются подъ угломъ 180°, съ цѣлью равномѣрнѣе распредѣлить давленіе рабочихъ, которое измѣняется въ теченіе оборота, именно при опусканіи рукоятки больше, а при подниманіи меньше средняго, и эти уклоненія отъ средняго давленія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ непривычнѣе рабочій. Нерѣдко рукоятку соединяютъ съ *маховикомъ*, какъ въ нѣкоторыхъ сельскохозяйственныхъ машинахъ (соломорѣзкахъ, насосахъ...), вдѣлывая ручку въ одну изъ спицъ маховика. Чтобы рабочій безполезно не утомлялся безпрерывнымъ сгибаніемъ и разгибаніемъ корпуса, ось рукоятки должна быть расположена на высотѣ груди, т. е. около 90 с. м. отъ пола, а длина рукоятки должна быть отъ 30 до 40 с. м. Что же касается скорости ручки, то она должна быть отъ 0,55 до 0,6 метр., что соотвѣтствуетъ 20—30 или болѣе оборотамъ, смотря по длинѣ рукоятки.

94. Равновѣсіе простой лебедки. Пусть P будетъ движущая сила, дѣйствующая на рукоятку, Q—поднимаемый грузъ, L, ρ, r и R—длина рукоятки и радіусы: барабана, шестерни и колеса. Вслѣдствіе дѣйствія силы P зубцы шестерни производятъ давленіе на зубцы колеса, которое въ свою очередь оказываетъ противодѣйствіе, равное этому давленію; послѣднее можно считать направленнымъ по общей касательной къ начальнымъ окружностямъ; назовемъ его буквою X. Кромѣ этихъ силъ дѣйствуютъ еще безполезныя сопротивленія: треніе шиповъ въ подшипникахъ, треніе въ зубцахъ и жесткость наматывающейся веревки или цѣпи. Для равновѣсія надо, чтобы моментъ движущей силы былъ равенъ суммѣ моментовъ всѣхъ сопротивленій относительно каждой оси. Поэтому, не принимая пока въ разсчетъ безполезныхъ сопротивленій, будемъ имѣть для равновѣсія на рабочей оси: $PL=Xr$ и на грузовой: $XR=Q\rho$, откуда:

$$P=Q\frac{\rho\, r}{LR} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20)$$

95. Принимая въ разсчетъ безполезныя сопротивленія, получимъ условіе равновѣсія для рабочей оси:

$$PL = Xr + f(N_1 + N_2)\rho_1 + f\pi X \left\{ \frac{1}{m} + \frac{1}{m'} \right\} r \ldots\ldots, \text{(a)}$$

гдѣ N_1 и N_2 суть нормальныя давленія, дѣйствующія въ цапфахъ, ρ_1—радіусъ послѣднихъ, f—коеффиціентъ тренія, который предположимъ одинаковымъ для цапфъ и зубцовъ; послѣдній членъ выражаетъ моментъ тренія въ зубцахъ, число которыхъ на шестернѣ и большомъ колесѣ обозначено буквами m и m'. Въ самомъ невыгодномъ случаѣ, когда P и X имѣютъ одно направленіе, сумма нормальныхъ давленій равна: $N_1+N_2=\sqrt{(P+X)^2+G_1^2}$, гдѣ G_1 есть вѣсъ рабочей оси со всѣми частями.

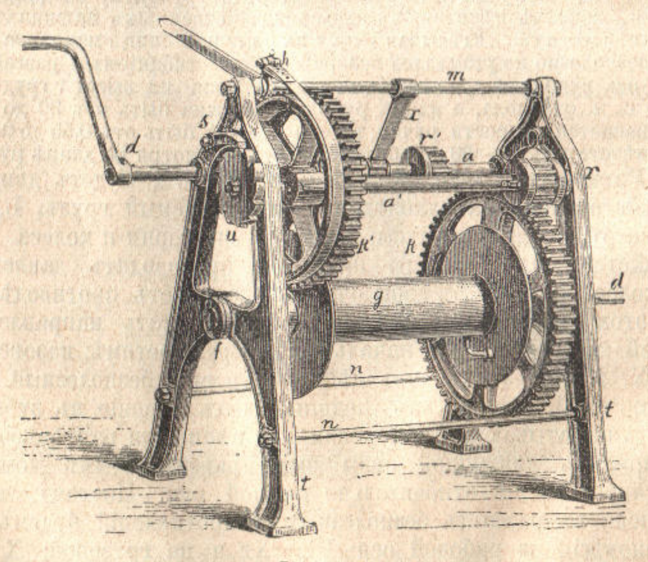
Для равновѣсія грузовой оси необходимо:

$$XR = Q\rho + S\rho + f\left\{ N' + N'' \right\}\rho_2 \ldots\ldots \text{(b)}$$

гдѣ S есть жесткость каната, равная $S=13\delta^2 \frac{Q}{r}$, f — коефф. тренія въ шипахъ, ρ_2 — радіусъ послѣднихъ и N', N'' — нормальныя давленія въ цапфахъ. Сумма ихъ $N'+N''=\sqrt{X^2+(Q+G)^2}$, гдѣ G есть вѣсъ грузовой оси.

Исключивъ изъ уравненій (a) и (b) давленіе X, можемъ опредѣлить силу P въ зависимости отъ груза Q и отъ всѣхъ безполезныхъ сопротивленій.

96. Двойная лебедка. При поднятіи очень большихъ грузовъ употребляется *двойная лебедка*—съ двумя передаточными осями *a* и *a'* (фиг. 100), изъ коихъ первая несетъ на себѣ двѣ шестерни



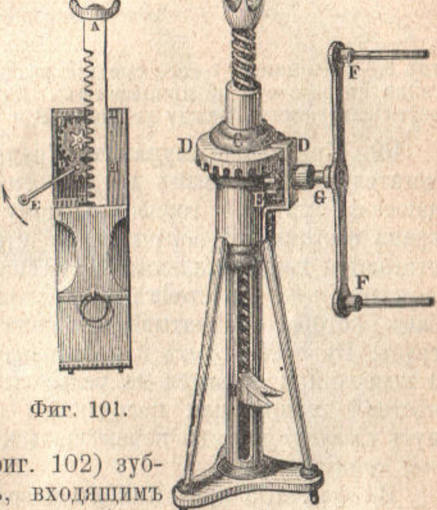
Фиг. 100.

r', а вторая—колесо R', сцѣпляющееся съ первою изъ шестеренокъ r', и шестерню r, сцѣпляющуюся съ рабочимъ колесомъ R. Рукоятки d насажены на первую ось *a*; а на второй оси сверхъ колесъ R' и r заклинены тормозное колесо h и храповое колесо u,

для котораго собачка (s) укрѣплена къ станинѣ. Къ болту *m* подвѣшена такъ наз. *западня* x, охватывающая шейку оси *a*; она препятствуетъ послѣдней передвигаться въ своихъ подшипникахъ. Отбросивъ западню x, можно продвинуть валъ a слѣва направо, причемъ первая (лѣвая) его шестерня расцѣпится съ колесомъ R′, а вторая (правая) войдетъ въ зацѣпленіе съ колесомъ R: во́ротъ будетъ работать какъ простая лебедка.

97. Домкраты. Домкраты служатъ для поднятія большихъ грузовъ на незначительную высоту. Они раздѣляются на домкраты съ *зубчатою рейкою* и *винтовые*.

Домкратъ съ зубчатою рейкою (фиг. 101) состоитъ изъ зубчатой полосы A, поддерживающей грузъ *головкою* A или крюкомъ (*ногою*), въ который изогнутъ нижній конецъ рейки. Послѣдняя сцѣпляется съ шестернею C, на одной оси съ которою насажено колесо B, сцѣпляющееся въ свою очередь съ шестернею D, которая приводится въ движеніе усиліемъ, приложеннымъ къ рукояткѣ E. Чтобы при остановкѣ дѣйствія рейка не приняла обратнаго движенія, на ось рукоятки насаживаютъ храповое колесо съ собачкою; иногда же собачка упирается прямо въ зубцы рейки.



Фиг. 101.
Фиг. 102.

Въ *винтовомъ домкратѣ* (фиг. 102) зубчатая рейка замѣнена винтомъ, входящимъ въ гайку C, которая заключена въ лобовое зубчатое колесо D. Это послѣднее сцѣпляется съ шестернею E, которая приводится въ движеніе силою, приложенною къ рукояткѣ F.

Пренебрегая вліяніемъ безполезныхъ сопротивленій и сохранивъ буквамъ ихъ прежнія значенія (§ 95), получимъ извѣстныя уже формулы:

для домкрата съ рейкою:

$$P = Q\frac{r'r}{LR} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (21)$$

гдѣ r и r′ суть радіусы шестеренъ D и C;

для винтоваго домкрата:

$$P = Q\frac{r'}{L}\frac{r}{R}\operatorname{tang}\alpha = Q\frac{h}{2\pi L}\frac{r'}{R} \quad . \; . \; . \; . \; (22)$$

гдѣ r, h и α суть средній радіусъ, ходъ и уголъ наклона винта.

98. Вводя безполезныя сопротивленія, получимъ для домкрата съ рейкою два уравненія:

$$PL = Xr + f\rho\sqrt{(P+X)^2 + G^2} + fX\pi\left\{\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right\}r, \text{ и}$$

$$XR = Qr' + f\rho_1\sqrt{X^2 + (Q+G_1)^2} + f\pi\frac{1}{m''}(Q+G_2)r',$$

гдѣ G есть вѣсъ шестерни D, G_1—вѣсъ колеса B съ шестернею C, G_2—вѣсъ рейки, а m, m' и m'' суть числа зубцовъ колесъ D, B и C.

Для винтоваго домкрата получимъ:

$$PL = Xr + f\rho\sqrt{(P+X)^2 + G^2} + f\pi X\left\{\frac{1}{m} + \frac{1}{m'}\right\}r, \text{ и}$$

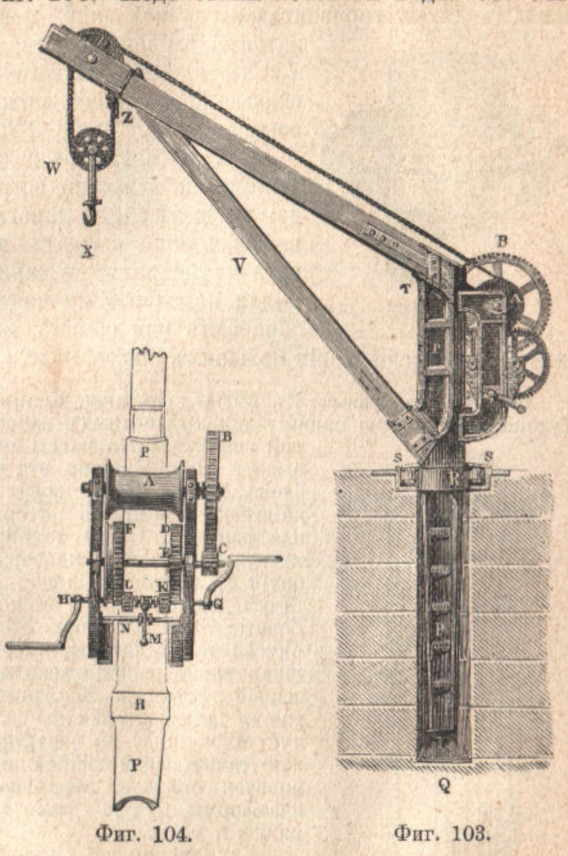
$$XR = Qr\tan g(\alpha+\varphi) = Qr\frac{h + 2\pi rf}{2\pi r - fh},$$

гдѣ h—ходъ винта, r—его средній радіусъ (треніе на нижнемъ основаніи гайки въ разсчетъ не принимаемъ). Изъ этихъ уравненій не трудно вывести зависимость между усиліемъ P и поднимаемымъ грузомъ Q.

99. Краны или **журавли.** Краны составляютъ важнѣйшій вспомогательный механизмъ для подъема большихъ грузовъ и для передвиженія ихъ по горизонтальному направленію. Главную часть крана составляетъ вертикальная стойка, вращеніемъ которой достигаются горизонтальныя перемѣщенія грузовъ. Такіе краны наз. *поворотными.* Къ стойкѣ прикрѣпляется сложный во́ротъ, на барабанъ котораго наматывается канатъ или цѣпь, поддерживающіе грузъ. Въ *подвижныхъ* или *ходячихъ* кранахъ во́ротъ снабжается 4 колесами и ставится на рельсовый путь, укладываемый на извѣстной высотѣ или неподвижно (*медвѣдка*) или такъ, что весь путь (*мостъ*) можетъ перемѣщаться по особымъ рельсамъ (*мостовые краны*).

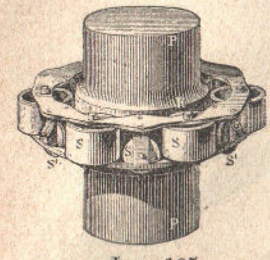
На фиг. 103 представленъ поворотный кранъ, построенный фр. инж. *Каве.* Вертикальный валъ PQ крана погруженъ въ шахту, сдѣланную въ фундаментѣ, и опирается нижнимъ шипомъ о подпятникъ Q; шейка R вала замѣняетъ вторую цапфу, которая вмѣстѣ съ нижнею удерживаетъ ось крана въ вертикальномъ положеніи, дозволяя ему вращаться около этой оси. Къ валу PQ укрѣплена наклонная балка TU (*стрѣла*), имѣющая на концѣ своемъ неподвижный блокъ. Для поддержанія стрѣлы служитъ *подкосъ* (*укосина*) V, однимъ концомъ укрѣпленный къ стрѣлѣ, а другимъ къ башмаку, отлитому заодно съ валомъ PQ. Къ послѣднему прикрѣпленъ воротъ A. Цѣпь, огибающая неподвижный блокъ U и подвижный W, прикрѣплена однимъ концомъ Z къ стрѣлѣ, а другимъ навита на барабанъ A ворота. Поднимаемый грузъ подвѣшивается къ крюку X, прикрѣпленному къ обоймицѣ подвижнаго блока. На одной оси съ воротомъ насажено зубчатое колесо B, приводимое въ движеніе шестернею C (фиг. 104), насаженною на

одинъ валъ съ зубчатымъ колесомъ D; съ послѣднимъ сцѣпляется шестерня E, на оси которой заклинено колесо F. Оси колесъ D и F лежатъ на одномъ уровнѣ, такъ что вторая закрываетъ совершенно первую на фиг. 103. Подъ этими колесами видна ось GH, которая проходитъ спереди нижней части колеса D и позади нижней части колеса F. На этой оси, имѣющей съ обѣихъ сторонъ рукоятки, насажены двѣ шестерни K и L, которыя можно двигать вправо и влѣво вмѣстѣ съ осью посредствомъ рычага M; вслѣдствіе этого могутъ быть приведены въ сцѣпленіе или шестерня K съ колесомъ D или же шестерня L съ колесомъ F, имѣющимъ одинаковый діаметръ съ D. Въ положеніи, представленномъ на фиг., шестерни K и L не зацѣпляютъ колесъ и воротъ не вращается. Но если продвинуть шестерню K вправо, то при вращеніи оси GH движеніе ея передастся колесу D, далѣе помощью шестерни C колесу B, а, слѣд., и валу A ворота. При этомъ шестерня E и колесо F будутъ тоже вращаться, но безъ всякаго вліянія на передачу. Если же введемъ шестерню L въ сцѣпленіе съ колесомъ F, то это послѣднее будетъ участвовать въ передачѣ, и, слѣд., тою же силою можно будетъ поднимать бóльшій грузъ, нежели въ первомъ случаѣ, когда въ передачѣ участвуютъ только двѣ пары колесъ, т. е. когда передача двойная. Для замедленія спусканія груза кранъ снабжается тормозомъ, который прикрѣпляется съ лѣвой стороны колеса F. Вслѣдствіе опрокидывающаго дѣйствія, производимаго на кранъ поднимаемымъ грузомъ, вертикальный валъ про-



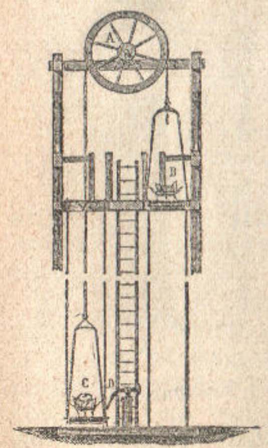
Фиг. 104. Фиг. 103.

изводитъ сильное боковое давленіе своею шейкою R на окружающую его коробку S. Для уменьшенія боковаго тренія шейки прокладывается между этою послѣднею и стѣнками коробки особая система горизонтальныхъ катковъ s,s, утвержденныхъ своими цапфами въ двухъ горизонтальныхъ кольцахъ; наконецъ, между гориз. катками s,s помѣщаются вертикальные катки s',s' (фиг. 105), служащіе для преобразованія скользящаго тренія нижняго кольца по его основанію въ треніе 2-го рода.


Фиг. 105.

Краны пользуются обширнымъ употребленіемъ; ихъ можно встрѣтить почти повсюду: на желѣзныхъ дорогахъ и корабельныхъ верфяхъ они служатъ для нагрузки и выгрузки товаровъ; въ машинныхъ мастерскихъ —для передвиженія частей машинъ при ихъ обработкѣ или сборкѣ, въ литейныхъ мастерскихъ для передвиженія большихъ опокъ, моделей и отливокъ и т. п.

100. Машина Коанье. Въ 1835 г. фр. инж. Коанье построилъ, по идеѣ Кулона, подъемную машину для крѣпостныхъ работъ, при помощи которой значительныя массы земли были подняты на высоту 13 м. Машина эта состоитъ изъ большаго блока A (фиг. 106), черезъ который перекинутъ канатъ, къ концамъ котораго прикрѣплены двѣ платформы B, C. На нижнюю платформу ставятъ тачку съ землею, а на верхнюю помѣщается рабочій съ пустою тачкою. Вѣсъ земли въ первой тачкѣ долженъ быть нѣсколько меньше вѣса рабочаго: тогда платформа, на которой онъ стоитъ, опускается, а нагруженная поднимается. Опустившись внизъ рабочій всходитъ опять на верхъ по особой лѣстницѣ. Къ этому времени вверху убираютъ тачку съ землею и ставятъ на мѣсто ея пустую, а внизу на платформу ставятъ нагруженную тачку. Поднявшійся по лѣстницѣ рабочій становится опять на верхнюю платформу, причемъ платформы будутъ двигаться въ обратномъ порядкѣ и т. д.


Фиг. 106.

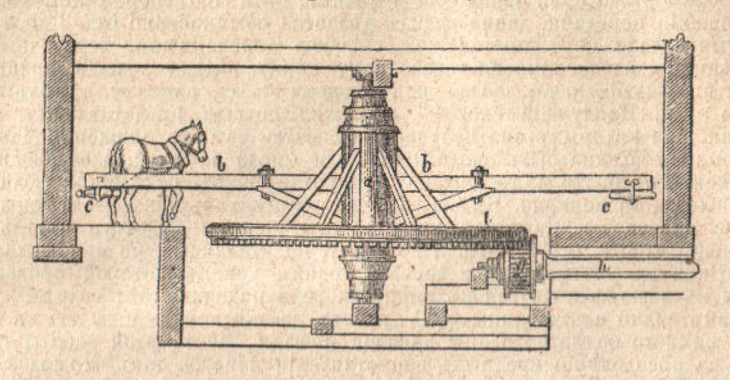
Какъ видно изъ таблицы § 90, этотъ способъ работы человѣка самый выгодный: работа его въ секунду составляетъ около $^1/_8$ пар. лошади.

101. Пріемники работы животныхъ. Въ Россіи изъ домашнихъ животныхъ наиболѣе употребляются, какъ двигатели, *лошадь* и *волъ*.

Животныя могутъ производить работу двоякимъ образомъ: 1) *мускульною силою ногъ* и 2) *собственнымъ вѣсомъ*. Способы приложенія мускульной силы животныхъ ограничиваются тягою въ направленіи движенія самого двигателя. Ихъ заставляютъ дѣйствовать на *рычаги* (водила) такъ наз. *конныхъ приводовъ или манежей*, или пользуются для перемѣщенія грузовъ вьюкомъ, въ повозкахъ

или водою (на судахъ). Къ пріемникамъ вѣса животныхъ относятся *топчаки*, представляющіе наклонную плоскость, которая получаетъ движеніе дѣйствіемъ касательной составляющей вѣса животнаго, по ней переступающаго.

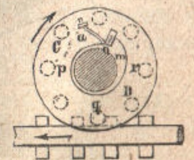
102. Постоянный конный приводъ. На фиг. 107 представленъ постоянный манежъ простѣйшаго устройства. Существенную



Фиг. 107.

часть его составляетъ деревянный вертикальный валъ *a*, на которомъ насажено лобовое зубчатое колесо *l*. Къ послѣднему прикрѣплены деревянные рычаги *b,b*, носящіе названіе *водилъ*.

Къ свободному концу водила припрягается животное, которое, двигаясь по окружности, сообщаетъ валу вращательное движеніе. Движеніе это передается посредствомъ цѣвочной шестерни *g* горизонтальному валу *h*, отъ котораго получаетъ движеніе рабочая машина. Такъ какъ при остановкѣ животнаго водило продолжаетъ двигаться по инерціи, то, во избѣжаніе увѣчья животнаго, шестерня *g* дѣлается *пропускною*. Устройство ея показано на фиг. 108. Шестерня насажена вольно на валу h и снабжена брускомъ O, пропущеннымъ черезъ ея диски. На томъ же валу заклиненъ эксцентрическій хомутъ *pqr*, снабженный бородкою *m*, къ которой брусокъ O прижимается пружиною *a*; высота паза, въ который вложенъ брусокъ O, дѣлается вдвое болѣе высоты бородки. При дѣйствіи двигателя брусокъ O, захватывая бородку *m*, сообщаетъ движеніе хомуту и валу. Если же двигатель остановится, то хотя валъ h и продолжаетъ, по инерціи, вращаться, но ни шестерня, ни колесо *l* не будутъ участвовать въ движеніи, ибо брусокъ O будетъ лишь скользить по внѣшней поверхности хомута и соскакивать съ бородки, имѣя возможность то опускаться, то подыматься.



Фиг. 108.

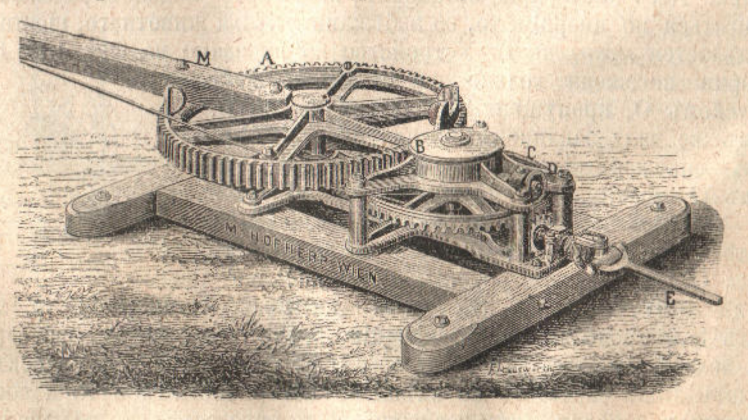
Длина водила и *способъ припряжки* къ нимъ животнаго имѣютъ вліяніе на успѣшность работы. При движеніи по окружности животное при каж-

домъ шагѣ должно переставлять ногу нѣсколько въ сторону. Чѣмъ меньше радіусъ окружности, тѣмъ больше должно быть боковое перемѣщеніе ноги. Такъ какъ при извѣстномъ предѣлѣ это обстоятельство чрезвычайно затрудняетъ животное, то оно начинаетъ, по инстинкту, дѣлать короткіе шаги, поэтому уменьшается его скорость и сила тяги. Это уменьшеніе силы тяги, какъ показали опыты, составляетъ, при длинѣ водилъ: 2, 3, 4, 5, 6 метровъ, 13%, 6%, 3%, 2% и 1%. Отсюда видно, что *наивыгоднѣйшая длина водилъ равна 6 м.;* однако на практикѣ, съ цѣлію сбереженія мѣста и упрощенія передачи, длина водилъ дѣлается обыкновенно отъ 3 до 4 м. Длинныя водила скрѣпляются между собою деревянными, веревочными или цѣпными раскосами. Къ свободному концу водила лошадь припрягается помощью *оглобель, дышла* или *постромковъ съ вальками*, а волъ помощью *ярма*. Наилучшій способъ запряжки лошади представляютъ постромки, при которыхъ она получаетъ большую свободу движенія. Длина постромковъ должна быть около 2 м. Если число лошадей, работающихъ въ манежѣ, не болѣе 4, то каждая припрягается къ отдѣльному водилу, если больше, то попарно. Въ послѣднемъ случаѣ, какъ показываетъ опытъ, каждое животное доставляетъ менѣе работы, нежели дѣйствуя отдѣльно. Наконецъ, чтобы лошадь ходила по кругу, не удаляясь и не приближаясь къ его центру, употребляется веревка, одинъ конецъ которой привязывается къ лошади, а другой къ концу впереди находящагося водила.

Какъ видно изъ таблицы § 90, работа доставляемая лошадью въ манежѣ, немного болѣе половины паровой лошади. Часть этой работы тратится на преодолѣніе вредныхъ сопротивленій манежа, такъ что полезная работа, передаваемая исполнительному механизму, меньше полной работы, производимой двигателемъ. На основаніи опытовъ, произведенныхъ при конкурсѣ въ Оксфордѣ и Свендборгѣ, можно принимать коэфф. полезнаго дѣйствія въ манежахъ съ 1 парою зубчатыхъ колесъ равнымъ отъ 80 до 90%, съ 2 парами отъ 70 до 80% и съ 3 парами отъ 60 до 70%.

Манежи употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда непрерывность и равномѣрность движенія рабочей машины не составляютъ существеннаго условія; напр., для поднятія воды насосами, для размельченія маслянистыхъ сѣмянъ, для мятья глины на кирпичныхъ заводахъ, для движенія сельскохозяйственныхъ машинъ: молотилокъ, вѣялокъ...

103. Переносный манежъ (фиг. 109). Основаніемъ этого ма-

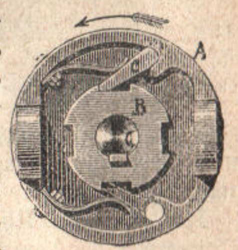


Фиг. 109.

нежа служитъ деревянная станина, которая укрѣпляется прочно

помощью кольевъ, забиваемыхъ въ землю по обѣимъ сторонамъ лапъ станины. Манежъ состоитъ изъ цилиндрическаго колеса A, снабженнаго гнѣздами, въ которыхъ укрѣпляются водила M. Цапфа этого колеса отлита заодно съ чугунною фундаментною плитою, привинченною къ станинѣ болтами. Вращеніе колеса A передается шестернею B коническому колесу C, сидящему на одной съ нею оси; отъ колеса C движеніе передается помощью конической шестерни валу E, соединенному шарниромъ Гука съ рабочею машиною. Нажимной роликъ D служитъ для обезпеченія правильнаго зацѣпленія колесъ, устраняя перекашиванія, могущія произойти вслѣдствіе неизбѣжныхъ качаній водилъ.

Въ быстроходящихъ рабочихъ машинахъ долженъ быть устроенъ или при манежѣ или при рабочей машинѣ *пропускной* сростъ валовъ, который позволялъ бы машинѣ, при внезапныхъ остановкахъ двигателя, продолжать свое движеніе, не увлекая за собою манежа, что необходимо для избѣжанія увѣчья животнаго. На фиг. 110 изображено одно изъ наилучшихъ подобныхъ соединеній, допускающее вращеніе манежа въ обѣ стороны. На концѣ рабочаго вала O свободно насажена муфта A, составляющая одно цѣлое съ вилкою шарнира Гука, и рядомъ заклиненъ дискъ B, снабженный выступами. Въ эти выступы упирается собачка C, постоянно нажимаемая пружиною, и приводитъ валъ во вращеніе по стрѣлкѣ, между тѣмъ какъ при остановкѣ манежа собачка будетъ лишь соскакивать съ выступовъ диска B. Переложивъ собачку въ положеніе, показанное пунктиромъ, можно получить движеніе въ противоположную сторону.

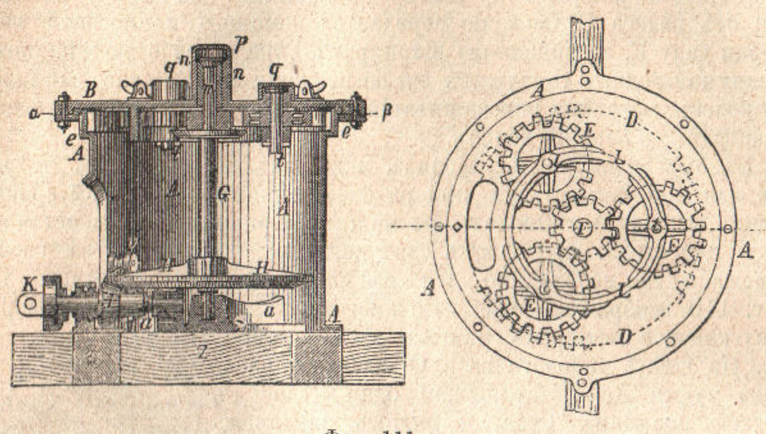


Фиг. 110.

104. Конный приводъ Баррета—Андрьюса. Манежъ этотъ, отличающійся весьма компактнымъ устройствомъ, появился впервые въ 1851 г. на лондонской всемірной выставкѣ. Онъ снабженъ планетнымъ механизмомъ, сущность котораго была уже нами разсмотрѣна раньше (§ 60).

Весь механизмъ заключенъ внутри чугуннаго цилиндра A (фиг. 111), который прикрѣпленъ болтами къ деревянной станинѣ Z. Сверху цилиндръ этотъ прикрытъ крышкою B, которая можетъ свободно вращаться вокругъ краевъ цилиндра, а снизу открытъ и снабженъ 4 ручками a, несущими втулку для вертикальнаго вала манежа. Къ верхнему краю цилиндра A прилитъ внутренній зубчатый вѣнецъ D—неподвижный, какъ и самъ цилиндръ A. Съ этимъ вѣнцомъ сцѣпляются три одинаковыя шестерни E, съ которыми сцѣплена центральная шестерня F, заклиненная на валу G манежа, свободно проходящемъ въ крышкѣ B. Оси t шестеренокъ E установлены въ кольцѣ L, прилитомъ къ крышкѣ, и снабжены маслян-

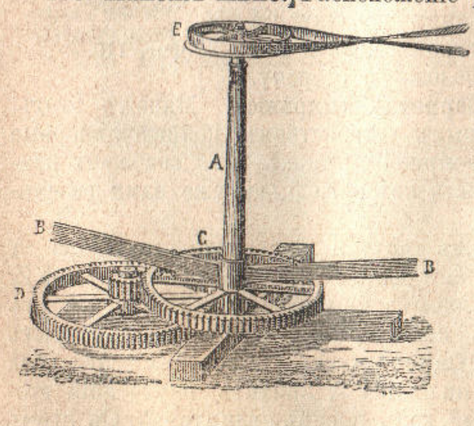
ками q,q. Водила прикрѣпляются къ крышкѣ B. При вращеніи послѣдней будетъ вращаться кольцо L съ шестернями E,E,E, при чемъ послѣднія заставляютъ вращаться шестерню F, отъ которой движеніе передается при помощи вала G, коническихъ колесъ HJ и шарнира Гука передаточному валу K.



Фиг. 111.

Для предупрежденія подниманія крышки къ ней привинчено снизу желѣзное (разрѣзное) кольцо *e*, захватывающее за флянецъ цилиндра A.

105. Манежъ Пине. Расположеніе рабочаго вала близъ поверхности земли, какъ это имѣетъ мѣсто въ предыдущемъ манежѣ, затрудняетъ равномѣрный ходъ животнаго. Въ манежѣ Пине (фиг. 112) этотъ недостатокъ устраняется вполнѣ устройствомъ верхней ременной передачи. Валъ манежа проходитъ внутри чугунной пустотѣлой колонны A, привинченной прочно болтами къ чугунной фундаментной доскѣ, которая прикрѣпляется къ основной рамѣ манежа. Водила B,B прикрѣплены къ колесу C, ступица котораго охватываетъ вольно колонну. Движеніе этого колеса передается посредствомъ цилиндрической шестерни короткой вертикаль-



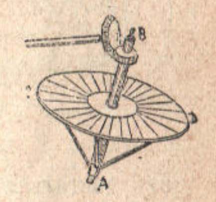
Фтг. 112.

ной оси, несущей на себѣ зубчатое колесо D, сцѣпляющееся съ шестернею, заклиненною на нижнемъ концѣ главнаго вала манежа. На верхнемъ концѣ этого вала насаженъ шкивъ E, отъ котораго вращеніе передается рабочей машинѣ.

Ведущій шкивъ E насаживается вольно на валу манежа и *получаетъ вращеніе при посредствѣ храповаго колеса съ собачкою;* послѣдняя прикрѣпляется къ одной изъ спицъ шкива, а храповое колесо заклинивается на валу. При подобномъ устройствѣ, въ случаѣ внезапной остановки двигателя, рабочая машина будетъ продолжать двигаться, не увлекая за собою манежа.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится часто мѣнять мѣсто расположенія манежа, послѣдній помѣщаютъ *на колесный ходъ*, который при установкѣ привода нѣсколько врывается въ землю и укрѣпляется клиньями.

106. Наклонный кругъ. Изъ пріемниковъ работы вѣса животныхъ (*топчаковъ*) самый простой есть *наклонный кругъ*, представленный на (фиг. 113). Онъ состоитъ изъ наклоннаго вала AB, укрѣпленнаго нижнимъ концомъ въ подпятникѣ, а верхнимъ въ подшипникѣ, которые утверждены въ поперечинахъ станины топчака, собранной изъ деревянныхъ брусьевъ. Съ валомъ AB скрѣпленъ посредствомъ ручекъ и подкосовъ перпендикулярный къ нему кругъ CD, образующій досчатый помостъ со ступенями, по которымъ ходитъ животное и дѣйствіемъ составляющей своего вѣса, направленной въ плоскости помоста, приводитъ кругъ въ движеніе. Чтобы животное не спускалось въ нижайшую точку помоста, его привязываютъ поводомъ къ неподвижному брусу. Вращеніе вала AB передается рабочей машинѣ при помощи безконечнаго ремня, перекинутаго черезъ шкивъ, насаженный на верхнемъ концѣ вала, или при помощи лобоваго колеса и цѣвочной шестерни. Діаметръ помоста дѣлается не менѣе 3 саж., а уголъ наклона α отъ 10^0 до 20^0.



Фиг. 113.

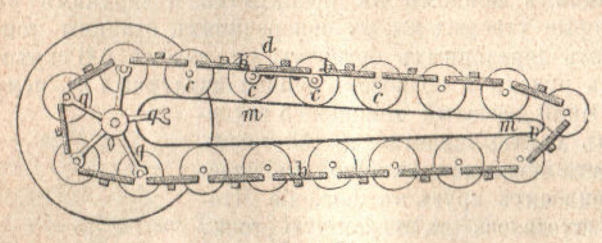
Главные недостатки этого рода топчаковъ заключаются въ опасности для животнаго въ случаѣ его паденія, дороговизнѣ и неудобствѣ переноски, по причинѣ громоздкости пріемника. Поэтому они употребляются у насъ (на югѣ Россіи) довольно рѣдко и все болѣе замѣняются *американскими* топчаками, неимѣющими этихъ недостатковъ.

107. Вѣсъ P животнаго можетъ быть замѣненъ двумя составляющими: P Sinα, приводящею кругъ въ движеніе, и P Cosα, нормальною къ кругу, т. е. направленною вдоль оси и производящею давленіе на пяту, а также боковыя давленія на подшипники. Вѣсъ G топчака дастъ тоже двѣ составляющія: G Sinα, направленную перпендикулярно къ валу, а, слѣдов., параллельно сопротивленію Q, и G Cosα, по направленію оси. Поэтому уравненіе равновѣсія приметъ видъ:

$$PSin\alpha.p = Qr + f\rho \left\{ (P + G)\ Sin\alpha + Q \right\} + \frac{2}{3} f\rho(P+G)\ Cos\alpha,$$

гдѣ p есть перпендикуляръ, опущенный изъ точки пересѣченія оси съ кругомъ на направленіе силы PSinα, r — радіусъ шкива, на который дѣйствуетъ преодолѣваемое сопротивленіе Q, и ρ — радіусъ цапфъ, и гдѣ не приняты въ соображеніе, по ихъ незначительности, боковыя давленія въ цапфахъ, происходящія отъ силы PCosα, которая, производя давленіе на пяту, стремится въ тоже время опрокинуть топчакъ. Наконецъ, что касается вѣса животнаго (лошади или вола), то его можно принимать равнымъ 17 пуд.

108. Американскій топчакъ. На фиг. 114 изображенъ одинъ изъ употребительнѣйшихъ въ Америкѣ топчаковъ системы Эмери. Главную часть топчака составляетъ подвижный наклонный (около 15°) помостъ, собранный изъ поперечныхъ досокъ *b*,*b*, концы которыхъ прикрѣплены къ двумъ безконечнымъ цѣпямъ, соединеннымъ между собою поперечными желѣзными тягами, такъ что обѣ цѣпи движутся одновременно. На концахъ этихъ тягъ посажены небольшіе чугунные ролики *d*, которые перекатываются по рельсамъ, укрѣпленнымъ къ балкамъ станины. Лошадь помѣщаютъ на помостъ и привязываютъ поводъ къ передней стѣнкѣ топчака; при этомъ безконечный помостъ начнетъ двигаться сверху внизъ, дѣйствіемъ вѣса лошади, которая сама будетъ оставаться на мѣстѣ. Работа ея аналогична съ тягою по наклону. При движеніи помоста свободные концы поперечныхъ соединительныхъ тягъ захватываютъ за вилообразныя спицы двухъ колесъ *b*, заклиненныхъ на валу O, вращеніе котораго отъ шкива f сообщается, при помощи передаточныхъ колесъ съ утроенною передачею [1]), рабочей машинѣ. Къ шкиву *f* придѣланъ сильный тормозъ, служащій для остановки топчака.



Фиг. 114.

Топчаки Эмери строятся на одну и двѣ лошади [2]). На этихъ пріемникахъ лошадь работаетъ какъ при прямолинейной тягѣ, и потому доставляетъ больше работы, нежели въ манежахъ. Но американскіе топчаки поглощаютъ много работы на треніе; поэтому коэфф. ихъ полезнаго дѣйствія не многимъ болѣе коэфф. п. д.

[1]) При скорости лошади въ 1 м., валъ 0 дѣлаетъ 52,5 оборота въ минуту, а передаточный валъ 157,5 обор.

[2]) Они могутъ служить для какого угодно животнаго, такъ въ Америкѣ строятся небольшіе топчаки для собакъ, служащіе для движенія маслобоекъ.

конныхъ приводовъ [1]). Топчаки эти занимаютъ мало мѣста, но требуютъ частаго ремонта полотна.

109. Перевозка грузовъ животными. Перемѣщеніе грузовъ животными производится *по дорогамъ*, при посредствѣ перевозочныхъ средствъ: повозокъ, вагоновъ и т. п., или безъ ихъ посредства, т. е. *вьюкомъ* и *водою*, на разнаго рода судахъ.

При передвиженіи грузовъ въ повозкахъ по *горизонтальному* пути работа затрачивается единственно на преодѣленіе тренія 1-го рода въ осяхъ колесъ и тренія 2-го рода между колесами и дорогой. Она будетъ, слѣдовательно, равна произведенію изъ пройденнаго пути на величину полнаго сопротивленія, указываемаго натяженіемъ постромковъ.

Такъ какъ оба эти тренія пропорціональны нормальному давленію, то и усиліе P, необходимое для передвиженія груза Q (считая въ томъ числѣ и вѣсъ повозки) также пропорціонально передвигаемому грузу, т. е.

$$P = kQ \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

гдѣ k есть такъ наз. *коеффиціентъ тяги*. Онъ измѣняется съ состояніемъ дороги въ предѣлахъ отъ 0,25 до 0,025, именно:

для грунтовой дороги отъ		0,250—0,040
» шоссе	» »	0,125—0,033
» булыжной мостовой		0,03
» мостовой изъ квадровъ песчаника	. .	0,025

для рельсоваго пути при хорошемъ его состояніи коефф. тяги принимается равнымъ 0,005.

Если дорога съ *уклономъ*, то, обозначая буквою α уголъ наклона и G вѣсъ животнаго, получимъ для усилія P выраженіе:

$$P = k.Q\text{Cos}\alpha \pm (Q + G)\,\text{Sin}\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

гдѣ знакъ (—) относится къ случаю движенія подъ гору.

По формуламъ (23) и (24) разсчитывается число n лошадей, необходимыхъ для передвиженія даннаго груза по данной дорогѣ, для чего надо знать силу тяги F каждой лошади; тогда $P = nF$.

По опытамъ Кулона, сила тяги F лошади можетъ быть принята равною $\frac{8}{25}$ ея собственнаго вѣса; такъ, лошадь вѣсомъ 270 килогр., можетъ, не двигаясь, оказать на постромки усиліе $270\frac{8}{25} = 86{,}4$ кил. Въ движеніи сила тяги лошади уменьшается на $\frac{1}{20}$ вѣса на каждые 0,3 метра. Такъ, при скорости 1,2 метра сила тяги лошади составитъ только $86{,}4 - 270 \times \frac{1}{20} \times \frac{1{,}2}{0{,}3} = 32{,}4$ klg. [2]).

---

[1]) По опытамъ *Амоса* коефф. полезнаго дѣйствія американскихъ топчаковъ на 20—25% болѣе к. п. д. конныхъ приводовъ.

[2]) «Паровая лошадь», какъ единица работы, была введена Уаттомъ, и

Должно замѣтить, что сила тяги, при одновременной запряжкѣ нѣскольких лошадей не пропорціональна ихъ числу, а уменьшается среднимъ числомъ на 6% (по опытамъ *Бокельберга*) для каждой вновь припрягаемой лошади, принимая силу тяги первой лошади за единицу.

110. При тягѣ грузовъ *водою* на баркахъ и другихъ судахъ, двигатель преодолѣваетъ сопротивленіе воды движенію судна. При спокойной водѣ лошадь можетъ тянуть бичевою до 60000 килогр.

Наконецъ, что касается *вьючнаго способа передвиженія грузовъ*, то, по опытамъ Кулона, двигатель можетъ держать, не двигаясь, на спинѣ грузъ, равный $^{2}/_{5}$ собственнаго вѣса двигателя. Въ движеніи вьючный грузъ уменьшается и это уменьшеніе можно принять равнымъ $\frac{2}{25}$ вѣса для человѣка и $\frac{1}{20}$ — для лошади на каждые 0,3 метра скорости.

ЗАДАЧИ.

36. При производствѣ опыта съ нажимомъ *Прони* (фиг. 97), давленіе на платформу десятичныхъ вѣсовъ было равно 100 klg.; плечо этого давленія l=3,5 м.; число оборотовъ вала въ мин. n=30; вѣсъ рычага 20 klg. и разстояніе ц. тяжести рычага до оси вала 1,5 м. Какъ велика передаваемая работа?

37. Сравнить стоимость поднятія одного куб. метра воды на высоту 6 м. въ слѣдующихъ случаяхъ: 1) *Двигатель—человѣкъ*. Способы приложенія усилія: a) качаетъ рычагъ насоса; коефф. полезнаго дѣйствія μ=0,8; b) вертитъ рукоятку ворота; μ=0, 85; c) поднимаетъ воду при помощи неподвижнаго блока; μ=0,9. 2) *Двигатель—лошадь*. Работаетъ при манежѣ, движущемъ насосъ; общій коефф. полезнаго дѣйствія μ=0,6. Содержаніе въ сутки: рабочаго 50 к., лошади 1 р.

38. Два рабочихъ, дѣйствуя на воротъ съ простою передачею (фиг. 98), поднимаютъ грузъ Q=36 пуд.; діаметръ вала ворота = 1′; число зубцовъ на шестернѣ 7, на колесѣ 72; длина рукоятки $1\frac{1}{2}'$. Всѣ безполезныя сопротивленія, отнесенныя къ валу ворота, составляютъ 18% груза Q. 1) Опредѣлить усиліе, развиваемое каждымъ рабочимъ. 2) Пользуясь формулою Машека, опредѣлить: a) дѣйствительную скорость поднятія груза и b) коефф. полезнаго дѣйствія машины.

39. Какой грузъ можетъ поднять рабочій, дѣйствующій съ усиліемъ 8 klg., при помощи сложнаго ворота (фиг. 54), принимая въ разсчетъ всѣ сопротивленія движенію. Дано: r′=r″=r‴=10 сант., L = 40 с., R′ = 50 с., R″=25 с. Радіусы цапфъ a, b и c: ρ'=2 с., ρ''=2,5 с., ρ'''=3 с.; діаметръ

опредѣлена изъ наблюденій надъ работою лошади въ Корнваллійскихъ копяхъ. При помощи динамометра было найдено, что довольно сильная лошадь, работая со скоростью 1 м. въ сек., можетъ проявлять въ теченіе 8 часовъ усиліе 75 килогр. Слѣдов., работа такой лошади въ секунду равна 75 к. м. Эта величина была принята за мѣру работы лошади, и подъ *лошадиною силою* разумѣется по этому работа въ 74 к. м. въ секунду. Уаттъ принялъ ее для измѣренія работы изобрѣтенныхъ имъ паровыхъ машинъ, почему эта единица и получила названіе *паровой лошади*. Въ настоящее время паровыми лошадьми измѣряется не только работа пара въ паровыхъ машинахъ, но и всѣхъ другихъ двигателей.

каната δ=2,5 с. Вѣсъ шестерни a=14 klg.; колесъ A и b—40 klg. и вала C съ колесомъ B—50 klg. Шагъ зацѣпленія p=5 с, f=0,11.

40. Рабочій поднимаетъ 1000 кил. поср. винтоваго ворота. Дано: ходъ винта h = 1 с., радіусъ винтоваго колеса R = 20 с., радіусъ начальнаго цилиндра винта r=4 с., длина рукоятки L=30 с., радіусъ вала ворота ρ=6 с., f = 0,18. Опредѣлить усиліе рабочаго (не принимая въ разсчетъ тренія въ цапфахъ и жесткости веревки).

41. Какой грузъ можетъ поднять одинъ рабочій при помощи домкрата съ зубчатою рейкою (фиг. 101), если длина рукоятки L=1′; шестерня, сидящая на одной оси съ рукояткою, имѣетъ 9 зубцовъ; передаточное колесо имѣетъ ихъ 40; радіусъ шестерни, ведущей рейку r=2″. Безполезныя сопротивленія, отнесенныя къ начальной окружности послѣдней шестерни, составляютъ 15°/₀ груза. Усиліе рабочаго=30 фунт.

42. Опредѣлить, какое усиліе нужно приложить къ рукояткѣ винтоваго домкрата (фиг. 102), чтобы приподнять передокъ телѣги, вѣсящей съ грузомъ 100 пуд., при слѣд. данныхъ: домкратъ расположенъ въ разстояніи 3,2′ отъ опорнаго колеса, плечо вѣса телѣги = 2,5′; длина рукоятки въ 25 разъ болѣе шага винта и радіусъ зубч. колеса въ 3 раза болѣе радіуса шестерни (треніе не принимается въ разсчетъ).

43. Какая сила потребна для того, чтобы помощью крана (фиг. 103) поднять грузъ въ 200 пуд., посредствомъ двойной и тройной передачи, при слѣд. данныхъ: длина рукоятки равна 40 с., радіусъ барабана ворота = 20 с.; шестерни K, L и E имѣютъ по 9 зубцовъ, C—11, колеса D и F по 54, а B—66 зубцовъ; безполезныя сопротивленія, отнесенныя къ барабану составляютъ 20°/₀ груза.

44. Въ манежѣ (фиг. 109) на валу E насаженъ шкивъ въ 3 ф. діаметромъ. Полезное сопротивленіе, отнесенное къ окружности шкива, равно 1,2 пуд. Сколько лошадей должно работать на приводѣ (шагомъ), если дано: число зубцовъ шестерни E—7, колеса C—11, шестерни B—9 и колеса A—60; длина водилъ, считая по радіусу=3 саж.; треніе поглощаетъ 15°/₀ движущаго усилія. Пользуясь формулою Машека, опредѣлить дѣйствительную скорость лошади и число оборотовъ колеса A и шкива.

45. Опредѣлить силу, необходимую для передвиженія телѣги съ грузомъ въ 200 пуд. по шоссе съ уклономъ $\frac{1}{50}$ (въ гору). Сколько потребно лошадей, если средняя сила тяги лошади 3,4 пуд., коэфф. тяги k=0,1 и средній вѣсъ лошади=17 пуд. Найти скорость телѣги въ верстахъ въ часъ.

ГЛАВА V.

Гидростатика. [1]).

Характеристическія свойства жидкостей. — Задача гидростатики; гипотеза совершенной жидкости. — Основное начало гидростатики. — Принципъ Паскаля.—Законъ гидростатическаго давленія.—Давленіе атмосферы.—Давленіе на горизонтальное дно.—Давленіе на плоскія стѣнки. — Центръ давленія. — Сообщающіеся сосуды.—Равновѣсіе погруженныхъ тѣлъ; законъ Архимеда.—Равновѣсіе плавающихъ тѣлъ.—Гидравлическій прессъ.—Задачи.

111. Характеристическія свойства жидкостей. Отличительное свойство каждой жидкости состоитъ въ легкой подвижности ея частицъ. Жидкости раздѣляются на *капельныя* и *газообразныя*. Между частицами первыхъ существуетъ еще нѣкоторое, хотя и весьма малое, сцѣпленіе, вслѣдствіе чего капельныя жидкости занимаютъ всегда опредѣленный объемъ, дѣйствіемъ только внутреннихъ силъ. По той же причинѣ частицы жидкости оказываютъ нѣкоторое сопротивленіе всякому усилію, стремящемуся оторвать ихъ. Газообразныя жидкости характеризуются отсутствіемъ сцѣпленія между ихъ частицами. Онѣ стремятся постоянно удалиться другъ отъ друга и могутъ удерживаться въ данномъ мѣстѣ и занять опредѣленный объемъ только дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ. И капельныя и газообразныя жидкости принадлежатъ къ числу *упругихъ* тѣлъ, т. е. сжимаясь при дѣйствіи внѣшнихъ силъ, онѣ возстановляютъ свой объемъ по прекращеніи ихъ дѣйствія. Но величина сжатія, при одномъ и томъ же давленіи весьма различна въ различныхъ жидкихъ тѣлахъ. Капельныя жидкости уменьшаются въ объемѣ вообще чрезвычайно мало, а потому и получили названіе *несжимаемыхъ* [2]). Газы и пары, напротивъ, сжимаются весьма

---

[1]) Древнѣйшія изслѣдованія въ области механики жидкихъ тѣлъ, относившіяся къ случаю равновѣсія (гидростатика), принадлежатъ сиракузскому геометру *Архимеду* (287 — 212 до Р. Х.). Онъ открылъ законы равновѣсія плавающихъ тѣлъ, которые до конца 16 ст. оставались единственнымъ вкладомъ въ гидростатику. Въ 1586 г. нидерл. матем. *Стевинъ* не только объяснилъ, на основаніи началъ Архимеда, такъ наз. *гидростатическій парадоксъ* (§ 119), но и вывелъ формулы для давленія жидкостей на дно и стѣнки сосудовъ. Прочное же начало гидростатикѣ, какъ наукѣ, было положено знаменитымъ фр. математикомъ *Блэзомъ Паскалемъ* (1623—1662), открывшимъ основной законъ гидростатики (1653 г., Traité de l'équilibre des liqueurs), извѣстный подъ названіемъ *принципа Паскаля* (§ 114). Полнымъ развитіемъ своимъ гидрастатика обязана трудамъ Гюйгенса, Ньютона, Клеро, Эйлера, Лагранжа, Лапласа, Пуассона и др.

[2]) По опыту *Эме* столбъ воды, имѣющій поперечное сѣченіе въ 1 кв. дюймъ, сжимается отъ давленія груза въ 16,27 фунт., равнаго атмосферному, на 0,00005 своего объема.

значительно, но по прекращенiи дѣйствiя сжимающей силы тотчасъ расширяются. По этой причинѣ ихъ называютъ также *упругими жидкостями*. Газъ, заключенный въ сосудъ, производитъ на стѣнки его давленiе, которое является какъ результатъ ударовъ колеблющихся частицъ о стѣнки. Ясно, что чѣмъ больше плотность газа, т. е. чѣмъ больше частицъ его находится въ данномъ объемѣ, тѣмъ больше давленiе, оказываемое газомъ на стѣнки сосуда. Это давленiе наз. *упругостью* газовъ (или паровъ).

112. Задача гидростатики. Гипотеза совершенной жидкости. *Гидростатика* или *статика* жидкихъ тѣлъ разсматриваетъ условiя равновѣсiя жидкостей. Эти условiя зависятъ не только отъ приложенныхъ силъ, но и отъ физическихъ свойствъ жидкихъ тѣлъ. Главная задача гидростатики состоитъ въ рѣшенiи слѣдующаго вопроса: *по даннымъ силамъ, дѣйствующимъ на жидкость, находящуюся въ равновѣсiи, опредѣлить, какъ распредѣляется давленiе въ массѣ жидкости.*

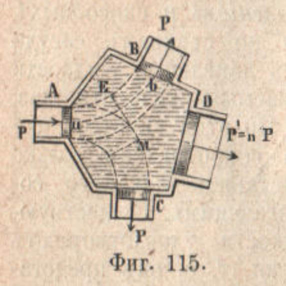
Для простоты разсужденiя будемъ разсматривать жидкость, какъ совокупность частицъ, необладающихъ *сцѣпленiемъ* и способныхъ перемѣщаться одна относительно другой и по стѣнкамъ сосуда *безъ тренiя*. Сверхъ того мы будемъ считать капельныя жидкости совершенно *несжимаемыми*. Такiя воображаемыя жидкости наз. *идеальными* или *совершенными* жидкостями. По этой гипотезѣ совершенныя жидкости способны представить сопротивленiе только сжимающимъ силамъ, но не способны представить никакого сопротивленiя силамъ растягивающимъ или сдвигающимъ. Существующiя же въ природѣ, *дѣйствительныя* жидкости удовлетворяютъ этимъ условiямъ только до нѣкоторой степени, т. е. онѣ представляютъ сопротивленiе и растягивающимъ и сдвигающимъ силамъ, хотя и весьма малое. Слѣдовательно, ошибка, проистекающая отъ принятiя гипотезы идеальной жидкости, вообще не чувствительна, по крайней мѣрѣ, когда разсматриваютъ жидкость въ состоянiи покоя. Но для жидкости, находящейся въ движенiи, эта гипотеза не можетъ имѣть мѣста, ибо ошибка можетъ выдти значительною. Вода по своимъ свойствамъ очень близко подходитъ къ совершенной жидкости.

113. Основное начало гидростатики. Гипотеза совершенной жидкости приводитъ къ слѣдующему основному принципу гидростатики: *если жидкое тѣло находится въ равновѣсiи, то внѣшнiя силы, приложенныя къ частицамъ поверхности, его ограничивающей, направлены по внутреннимъ нормалямъ къ этой поверхности.* Въ самомъ дѣлѣ, всякая сила, направленная не по нормали, можетъ быть разложена на двѣ: одну направленную по *нормали* и другую по *касательной* къ поверхности. Эта послѣдняя сила непремѣнно выведетъ частицу изъ положенiя равновѣсiя, заставляя ее скользить по поверхности, чему жидкость, по характеристиче-

скому свойству, не представляетъ препятствія. Сила, направленная по внѣшней нормали, также выведетъ частицу изъ положенія равновѣсія, такъ какъ и растягивающимъ силамъ жидкость не представляетъ сопротивленія. Слѣдовательно, для равновѣсія жидкости силы, на нее дѣйствующія, должны быть направлены по внутреннимъ нормалямъ къ поверхности, ограничивающей жидкость, ибо только этимъ силамъ, какъ сжимающимъ, жидкость можетъ оказать достаточное сопротивленіе, могущее съ ними уравновѣситься.

114. Принципъ Паскаля. Основаніемъ при изученіи явленій, происходящихъ при равновѣсіи жидкостей, служитъ слѣдующій принципъ: *жидкость, заключенная въ какомъ-либо сосудѣ и подверженная внѣшнему давленію, передаетъ его по всѣмъ направленіямъ съ равною силою.*

Этотъ принципъ, извѣстный подъ именемъ *начала равнаго давленія*, былъ высказанъ впервые фр. уч. *Паскалемъ.* Возьмемъ сосудъ ABCD (фиг. 115—горизонтальный разрѣзъ), наполненный жидкостью и снабженный цилиндрическими трубками A, B, C, D, въ которыхъ плотно движутся поршни. Пусть площади F поршней A, B и C будутъ равны между собою, а площадь F′ поршня D въ n разъ больше первыхъ. Произведемъ на поршень A давленіе P. Вслѣдствіе удобоподвижности частицъ жидкости, это давленіе передастся на прочіе поршни. Чтобы удержать ихъ въ равновѣсіи необходимо, какъ оказывается, приложить къ поршнямъ B и C силу, равную P, а къ поршню D силу P′, равную nP (для простоты разсужденій, при этомъ не принимается въ соображеніе давленіе на поршень, происходящее отъ вѣса жидкости). Слѣдовательно, *давленіе, передаваемое жидкостью различнымъ частямъ стѣнокъ сосуда, пропорціонально* ихъ *площадямъ*, т. е.:



Фиг. 115.

$$\frac{P}{F} = \frac{P'}{F'} = p = \text{Const.}$$

Это постояннное отношеніе p наз. *давленіемъ на единицу площади.* И такъ, *давленіе на единицу площади, происходящее отъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, передается жидкостью по всѣмъ направленіямъ одинаково*, другими словами, *въ массѣ жидкости, находящейся въ равновѣсіи, давленіе на единицу площади одинаково во всѣхъ точкахъ жидкости.* Вслѣдствіе этого свойства, жидкости представляютъ превосходное средство *для передачи работы*, ибо помощью жидкости, какъ помощью неравноплечаго рычага, можно малою силою уравновѣсить большой грузъ. Подобное примѣненіе жидкостей встрѣчается въ гидравлическихъ прессахъ (§ 125).

115. Законъ гидростатическаго давленія. На основаніи принципа Паскаля можемъ сказать, что если на единицу свободной поверхности [1]) жидкости, находящейся въ равновѣсіи, производится давленіе p, то оно передастся по всѣмъ направленіямъ въ массѣ жидкости. Дѣйствительное давленіе на единицу площади въ различныхъ точкахъ жидкости будетъ больше p, вслѣдствіе существованія давленія, происходящаго отъ вѣса вышележащихъ слоевъ жидкости. Полное давленіе, происходящее отъ внѣшней силы и вѣса самой жидкости, носитъ названіе *гидростатическаго давленія.* Это давленіе въ различныхъ точкахъ жидкости имѣетъ неодинаковую величину: оно измѣняется отъ одной точки къ другой, въ зависимости отъ глубины погруженія подъ свободною поверхностью. Законъ этой зависимости наз. *закономъ гидростатическаго давленія.*

Пусть мы имѣемъ сосудъ (фиг. 116), наполненный жидкостью, на единицу свободной поверхности которой производится давленіе p. Вообразимъ внутри жидкости точку M, лежащую на глубинѣ h подъ свободною поверхностью. Выдѣлимъ въ массѣ жидкости вертикальный цилиндръ MM′, площадь основанія котораго назовемъ буквою f, и вообразимъ, что часть жидкости, заключенная въ этомъ цилиндрѣ, превращена въ твердое состояніе: равновѣсіе отъ этого нисколько не нарушится. На цилиндръ дѣйствуютъ слѣдующія силы: 1) давленіе pf на верхнее основаніе, 2) вѣсъ цилиндра, равный Δ fh, гдѣ Δ есть вѣсъ кубич. ед. жидкости, 3) давленія окружающей жидкости на каждый элементъ боковой поверхности, нормальныя къ поверхности цилиндра, слѣд., всѣ горизонтальныя, 4) вертикальное давленіе p′f жидкости, направленное вверхъ, на нижнее основаніе. Такъ какъ цилиндръ находится въ равновѣсіи, то сумма проекцій всѣхъ силъ на какое либо направленіе, напр. на вертикаль, должна быть равна нулю, т. е.: $p'f - \Delta fh - pf = 0$, откуда:

Фиг. 116.

$$p' = p + \Delta h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

т. е. *давленіе на единицу площади въ какой либо точкѣ жидкости равно давленію на ед. свободной поверхности, сложенному съ вѣ-*

[1]) *Свободною поверхностью* жидкости наз. часть ея поверхности, не соприкасающаяся со стѣнками сосуда. Если жидкость, заключенная въ сосудѣ, находится въ равновѣсіи подъ исключительнымъ дѣйствіемъ силы тяжести, то ея свободная поверхность представитъ *горизонтальную плоскость*, потому что только въ этомъ случаѣ поверхность жидкости будетъ нормальна во всѣхъ точкахъ къ направленію внѣшнихъ силъ. На томъ же основаніи можемъ сказать, что *поверхность озера или моря образуетъ сферу*, центръ которой лежитъ въ центрѣ земли (если не принимать въ соображеніе второстепенныхъ силъ, каковы: центробѣжная сила, притяженіе луны и солнца).

сомъ столба жидкости, высота котораго равна глубинѣ погруженія точки, а основаніе—единицѣ.

Если внѣшнее давленіе $p = o$, то ур. (23) принимаетъ видъ:

$$p' = \Delta h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Изъ обоихъ уравненій видно, что если плотность жидкости постоянна, то *гидростатическое давленіе* въ различныхъ ея точкахъ *зависитъ только отъ глубины погруженія ихъ подъ свободною поверхностью:* для всѣхъ точекъ, лежащихъ на равной глубинѣ, оно одинаково. Всѣ эти точки образуютъ такъ наз. *поверхность равнаго давленія*, или *поверхность уровня*. Гидростатическое давленіе измѣняется отъ одной поверхности уровня къ другой.

116. Піезометрическая высота. Изъ уравн. (24) находимъ: $h = \frac{p'}{\Delta}$, т. е. высота столба жидкости, основаніе котораго равно кв. единицѣ и который производитъ на ед. площади давленіе p', равно отношенію этого давленія къ вѣсу куб. ед. жидкости. Эта высота наз. *піезометрическою высотою* или *высотою, измѣряющею давленіе*, а также *напоромъ*. Въ практикѣ весьма часто представляютъ давленіе какой либо жидкости піезометрическою высотою.

117. Давленіе атмосферы. Атмосферный воздухъ, вслѣдствіе своего вѣса производитъ давленіе на земную поверхность и на всѣ тѣла, на ней находящіяся. Давленіе это уравновѣшивается въ барометрѣ при обыкновенномъ состояніи атмосферы, въ мѣстахъ, лежащихъ на уровнѣ океана, столбомъ ртути въ 760 м.м. (піезометрическая высота $h = 0{,}76$ м.). Слѣдовательно, атмосферное давленіе на какую-либо площадь равно вѣсу ртутнаго столба, основаніе котораго равно этой площади, а высота 0,76 м.; или, такъ какъ ртуть въ 13,597 разъ тяжелѣе воды, то давленіе воздуха равно вѣсу водянаго столба, высота котораго равна $0{,}76 \times 13{,}597 = 10{,}334$ м. Но кубическій метръ воды вѣситъ 1000 klg., поэтому атмосферное давленіе p на кв. метръ равно 10334 klg. Въ механикѣ атмосферное давленіе принимается за единицу давленія жидкихъ тѣлъ. Въ подобномъ смыслѣ употребляютъ выраженіе: давленіе воды, пара или газа въ 1, 2, 3... атмосферы, когда желаютъ обозначить давленіе жидкости въ 1, 2, 3... килограмма на кв. сант., или, что все равно въ 16,27, 32,54,... фунта на кв. дюймъ. Если, напр., говорятъ: давленіе пара въ котлѣ равно 5 атмосферамъ, то это значитъ, что паръ давитъ на каждый кв. сант. стѣнокъ съ усиліемъ въ 5 килогр. или на каждый кв. дюймъ съ усиліемъ въ 81,35 фунтовъ.

118. Давленіе на горизонтальное дно. Частицы жидкости, непосредственно прилегающія къ горизонтальному дну, образуютъ поверхность уровня, слѣд., гидростатическое давленіе во всѣхъ точкахъ дна будетъ одинаково и, по предыдущему, выразится формулою:

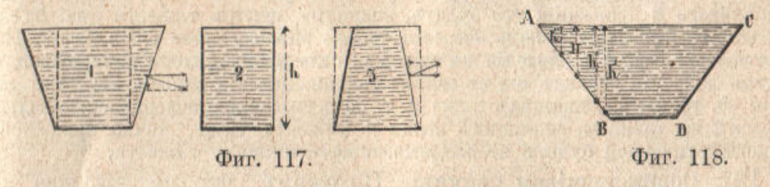
$$p' = p + \Delta h,$$

гдѣ p есть внѣшнее давленіе на единицу свободной поверхности, и h—*высота давленія* или *напоръ*. Полное же давленіе на дно, площадь котораго равно F, будетъ:

$$P = Fp + \Delta Fh \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

т. е. *давленіе на горизонтальное дно равно вѣсу столба жидкости имѣющаго основаніемъ площадь дна, а высотою—глубину жидкости, сложенному съ внѣшнимъ давленіемъ, приходящимся на дно.*

119. Изъ формулы (27) видно, что давленіе на дно не зависитъ отъ формы сосуда, а только отъ напора и величины площади дна. Если эта площадь и напоръ въ трехъ сосудахъ, представленныхъ на фиг. 117, будутъ одинаковы, то и давленіе на дно въ каждомъ изъ нихъ будетъ одно и то же, хотя въ первомъ будетъ по вѣсу больше жидкости, чѣмъ во второмъ, а во второмъ больше, чѣмъ въ третьемъ. Этотъ выводъ извѣстенъ подъ именемъ *гидростатическаго парадокса*, такъ какъ съ перваго взгляда кажется, что онъ противорѣчитъ истинѣ, ибо взвѣшивая наши сосуды, мы получимъ разные вѣса. Но это кажущееся противорѣчіе уничтожается тѣмъ соображеніемъ, что чашка вѣсовъ получаетъ давленіе не только отъ дна сосуда, къ ней прикасающагося, но и отъ стѣнокъ, неразрывно связанныхъ съ дномъ. Въ первомъ же сосудѣ, расширяющемся кверху, давленія на стѣнки, будучи разложены на вертикальную и горизонтальную составляющія, доставятъ цѣлый рядъ вертикальныхъ, внизъ идущихъ, силъ, которыя передадутся чашкѣ вѣсовъ, вмѣстѣ съ давленіемъ на дно; поэтому давленіе на чашку вѣсовъ будетъ болѣе давленія на дно: оно будетъ равно вѣсу жидкости, сложенному съ вѣсомъ сосуда. Въ *третьемъ* сосудѣ давленія на стѣнки доставятъ также цѣлый рядъ вертикальныхъ составляющихъ, но направленныхъ вверхъ, слѣд., стремящихся приподнять сосудъ, почему давленіе на чашку вѣсовъ будетъ менѣе давленія на дно, но опять равно вѣсу жидкости + вѣсъ сосуда. Наконецъ, во второмъ сосудѣ давленія на стѣнки будутъ параллельны дну и, слѣд., не будутъ передаваться на чашку вѣсовъ; поэтому вѣсъ жидкости и давленіе на дно между собою равны.



Фиг. 117. Фиг. 118.

120. Давленіе на плоскія стѣнки. Такъ какъ глубина погруженія для различныхъ элементовъ площади наклонной стѣнки различная, то предыдущій законъ давленія (§ 118) не можетъ быть непосредственно примѣненъ къ этому случаю. Для вывода его вообразимъ стѣнку AB (фиг. 118) раздѣленною на элементарныя площадки f_1, f_2, f_3... и назовемъ буквами h_1, h_2, h_3... соотвѣтствующія имъ напоры, p внѣшнее давленіе на ед. своб. поверхности и p_1, p_2, p_3... давленія на ед. площади, соотвѣтствующія элементамъ f_1, f_2, f_3... Тогда нормальныя давленія на эти элементы будутъ послѣдовательно:

$$p_1 f_1 = p f_1 + \Delta f_1 h_1,$$
$$p_2 f_2 = p f_2 + \Delta f_2 h_2,$$

Полное давленіе на стѣнку AB, какъ равнодѣйствующая системы параллельныхъ силъ, выразится суммою элементарныхъ давленій:

$$P = p \Sigma f + \Delta \{ f_1 h_1 + f_2 h_2 + \ldots \}.$$

Но выраженіе, стоящее въ скобкахъ, представляетъ сумму моментовъ элементовъ площади f_1, f_2.... относительно горизонта жидкости и равно FH, гдѣ F есть площадь стѣнки и H—разстояніе ея центра тяжести отъ горизонта; а $\Sigma f = F$; поэтому искомое давленіе на наклонную стѣнку будетъ:

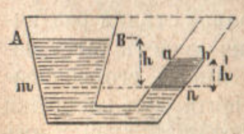
$$P = pF + \Delta FH. \; . \; . \; . \; . \; (28)$$

т. е. *давленіе на наклонную стѣнку равно вѣсу столба воды, имѣющаго основаніемъ площадь стѣнки, а высотою — разстояніе центра тяжести стѣнки отъ горизонта, сложенному съ внѣшнимъ давленіемъ, приходящимся на стѣнку.*

Выводъ послѣдней формулы не зависитъ отъ угла наклона, а потому она справедлива и для наклоннаго дна. Предыдущій законъ (§ 118) представляетъ, слѣдовательно, частный случай только что доказаннаго.

Примѣчаніе. Точка приложенія давленія жидкости на стѣнку наз. *центромъ давленія.* Розысканіе этого центра въ различныхъ частныхъ случаяхъ имѣетъ большое практическое значеніе и представляетъ приложеніе теоремы параллельныхъ силъ, подобно вопросу о нахожденіи центра тяжести, ибо, какъ мы видѣли выше, полное давленіе на стѣнку есть равнодѣйствующая системы силъ, перпендикулярныхъ къ этой стѣнкѣ, слѣд., центръ давленія есть центръ параллельныхъ силъ одинаковаго направленія. Если стѣнка *горизонтальна,* т. е. представляетъ дно сосуда, то центръ давленія совпадаетъ съ центромъ тяжести стѣнки, ибо давленія въ каждой точкѣ дна равны между собою, слѣд., центръ давленія будетъ центромъ равныхъ параллельныхъ силъ одинаковаго направленія: это будетъ, очевидно, центръ тяжести дна. *Въ случаѣ наклонной стѣнки центръ давленія будетъ лежать ниже ц. тяжести.* Дѣйствительно, если бы давленіе на стѣнку было распредѣлено равномѣрно, то центръ давленія совпалъ бы съ центромъ тяжести. На самомъ же дѣлѣ давленія въ точкахъ, лежащихъ ниже ц. т. подъ свободною поверхностью больше давленій въ точкахъ, лежащихъ выше ц. тяжести; слѣд., точка приложенія равнодѣйствующей будетъ необходимо лежать ниже ц. тяжести.

121. Сообщающіеся сосуды. Положимъ, что имѣемъ два сообщающіеся сосуда (фиг. 119), заключающіе въ себѣ двѣ разнородныя несмѣшивающіяся жидкости, которыя при равновѣсіи расположатся по своему удѣльному вѣсу: легчайшая на верху, плотнѣйшая—внизу. Пусть вѣсъ куб. ед. первой будетъ Δ, а второй Δ'. Поверхность раздѣла mn будетъ горизонтальная плоскость. Для равновѣсія, давленія на единицу площади раздѣла съ той и другой стороны должны быть равны между собою. Поэтому, называя буквою p атмосферное давленіе на ед. свободныхъ поверхностей AB и ab, передаваемое безъ измѣненія плоскости раздѣла mn, и буквами h и h' высоты жидкостей надъ плоскостью раздѣла, будетъ имѣть: $p + \Delta h = p + \Delta' h'$, откуда:



Фиг. 119.

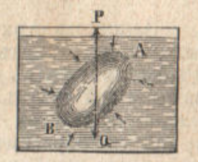
$$\frac{h}{h'} = \frac{\Delta'}{\Delta},$$

т. е. *высоты разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ обратнопропорціональны вѣсамъ ихъ куб. единицъ, или, что равно, ихъ плотностямъ.*

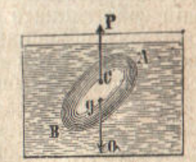
Если въ сосуды налита одна и та же жидкость, то $\Delta = \Delta'$, слѣд. $h = h'$, т. е. *въ сообщающихся сосудахъ жидкость стоитъ на одинаковой высотѣ.*

Примѣчаніе. На этихъ свойствахъ основано устройство инструмента, служащаго для нивеллированія, и извѣстнаго подъ названіемъ *водяного уровня*; а также устройство *барометра*, прибора, служащаго для измѣренія атмосферного давленія; въ этомъ приборѣ атмосферный столбъ уравновѣшивается столбикомъ какой-либо капельной жидкости, обыкновенно ртути. Выведенными выше законами объясняется *происхожденіе ключей, дѣйствіе артезіанскихъ колодцевъ, фонтановъ* и т. п.

122. Равновѣсіе погруженныхъ тѣлъ. Законъ Архимеда. Вообразимъ внутри жидкости, находящейся въ равновѣсіи, часть AB произвольной формы (фиг. 120) и предположимъ, что эта часть перешла въ твердое состояніе, не измѣнивъ своей плотности; равновѣсіе отъ этого не нарушится. Кромѣ вѣса Q, приложеннаго въ центрѣ тяжести C, на эту часть дѣйствуютъ еще давленія окружающей жидкости. Такъ какъ разсматриваемая часть жидкости находится въ равновѣсіи, то эти давленія, очевидно, имѣютъ равнодѣйствующую P, равную и прямопротивоположную ея вѣсу Q. Положимъ теперь, что часть AB жидкости замѣщена твердымъ тѣломъ какой бы то ни было плотности (фиг. 121). Давленіе снизу вверхъ, производимое на него жидкостью, будетъ тоже, что и прежде, т. е. будетъ равно *вѣсу вытѣсненной жидкости.* Это давленіе будемъ наз. *выталкивающею силою.* Точка приложенія C выталкивающей силы совпадаетъ съ центромъ тяжести объема воды, вытѣсненной тѣломъ; это есть *центръ давленія* (§ 120). Если погруженное тѣло однородно, то центръ тяжести его совпадаетъ съ ц. давленія (фиг. 120); если же нѣтъ, то эти центры не совпадаютъ (фиг. 121).



Фиг. 120.



Фиг. 121.

Итакъ, *всякое тѣло, погруженное въ жидкость,* вслѣдствіе дѣйствія выталкивающей силы, *теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость.* Этотъ законъ извѣстенъ подъ именемъ *закона Архимеда,* впервые его нашедшаго.

123. При этомъ могутъ быть три случая:

1) Если вѣсъ тѣла Q больше вѣса P вытѣсненной жидкости, то равнодѣйствующая $Q - P$, равная вѣсу тѣла въ жидкости, будетъ направлена внизъ и заставитъ тѣло погружаться въ жидкость.

2) Если $Q = P$, то вѣсъ тѣла въ водѣ равенъ нулю: оно не будетъ ни опускаться, ни подниматься, а останется въ равновѣсіи во всякомъ мѣстѣ внутри жидкости. Точки C и g будутъ лежать

на одной вертикали. Равновѣсіе тѣла можетъ быть трехъ родовъ: *устойчивое, неустойчивое и безразличное*, подобно равновѣсію подвѣшенныхъ тѣлъ. Оно будетъ *устойчивымъ*, если центръ тяжести тѣла лежитъ *выше* центра давленія С; *неустойчивымъ*, если ц. тяжести лежитъ *ниже* ц. давленія С, и *безразличнымъ*, если оба центра совпадаютъ.

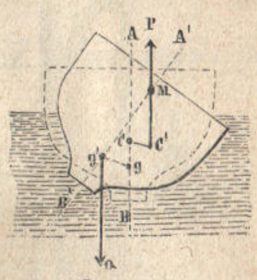
3) Наконецъ, если $Q<P$, то равнодѣйствующая $Q-P$ будетъ отрицательная, т. е. направлена снизу вверхъ: тѣло будетъ подниматься кверху до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ свободной поверхности, или пока не достигнетъ слоевъ, имѣющихъ одинаковую плотность съ тѣломъ. Въ первомъ случаѣ часть тѣла поднимется выше свободной поверхности; такое положеніе тѣла наз. *плаваніемъ*. Въ обоихъ случаяхъ равновѣсіе тѣла установится, когда вѣсъ вытѣсненной жидкости будетъ равенъ его вѣсу. Примѣръ этому представляютъ всѣ тѣла, поднимающіяся отвѣсно въ воздухѣ: дымъ, облака, газы, воздушные шары...

Закономъ Архимеда объясняются многія явленія. Такъ, въ водѣ мы можемъ поднимать такіе грузы, какихъ не въ состояніи поднять на сушѣ. Рыбы имѣютъ въ брюшной полости такъ наз. плавательный пузырь, наполненный газомъ. Сжимая и расширяя его, онѣ могутъ уменьшать или увеличивать свой объемъ, а потому вытѣснять больше или меньше воды, и такимъ образомъ подниматься или опускаться по произволу. Если обыкновенную швейную иглу, покрытую всегда легкимъ слоемъ жира, опустить осторожно на поверхность воды въ сосудѣ, то игла не потонетъ, а будетъ плавать, не смотря на то, что плотность ея болѣе плотности воды. Это происходитъ вслѣдствіе того, что такая игла не смачивается водою; вода въ сосѣдствѣ иглы принимаетъ форму, подобную той, какую принимаетъ ртуть при прикосновеніи своемъ къ стеклу: она образуетъ впадину, въ которой помѣщается игла. Поэтому игла вытѣсняетъ объемъ жидкости большій собственнаго объема, но вѣсъ котораго равенъ ея вѣсу. Такимъ же образомъ объясняется, почему нѣкоторыя насѣкомыя могутъ двигаться по водѣ. На законѣ Архимеда основано устройство *ареометровъ*—приборовъ, служащихъ для опредѣленія плотности жидкихъ тѣлъ. Употребленіе ихъ основано на томъ принципѣ, что если одно и тоже тѣло погружать въ жидкости, плотности которыхъ различны, то объемы жидкостей вытѣсняемые тѣломъ, будутъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ. Законъ Архимеда имѣетъ много другихъ приложеній, разсматриваемыхъ въ Физикѣ: опредѣленіе объема твердыхъ тѣлъ, имѣющихъ неправильную форму; опредѣленіе плотности твердыхъ тѣлъ и т. п.

124. Равновѣсіе плавающихъ тѣлъ. Какъ мы видѣли, плавающее тѣло подвержено дѣйствію двухъ силъ: собственнаго вѣса и давленія жидкости, приложеннаго въ центрѣ тяжести вытѣсненнаго тѣломъ объема жидкости. При равновѣсіи должно быть: 1) вѣсъ всего тѣла равенъ вѣсу вытѣсненной жидкости; 2) центръ тяжести и ц. давленія лежатъ на одной вертикали. Займемся разсмотрѣніемъ условій, при которыхъ равновѣсіе плавающаго тѣла будетъ *устойчивое, неустойчивое* или *безразличное.*

Положимъ, что плавающее тѣло есть судно (фиг. 122). Центръ тяжести его g будетъ лежать въ плоскости симметріи АВ; въ той же плоскости и на одной вертикали будетъ лежать центръ давленія С. Линія АВ, проходящая через центры тяжести и давленія, наз. *осью плаванія*, а сѣченіе тѣла горизонтомъ воды наз. *плоскостью плаванія*. Положимъ, что судно отклони-

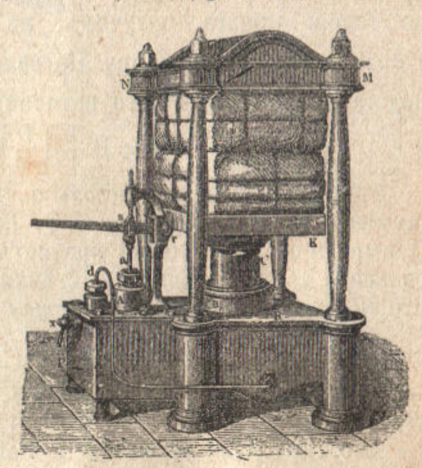
лось нѣсколько отъ первоначальнаго положенія, такъ что ось плаванія заняла положеніе A'B'. Тогда центръ давленія C выйдетъ изъ плоскости симметріи и будетъ находиться въ точкѣ C' на болѣе погруженной части судна. Въ этомъ новомъ положеніи количество вытѣсненной воды [1]) остается тоже самое, что и прежде; поэтому давленіе воды сохранитъ прежнюю величину, равную вѣсу Q судна, но направленія ихъ не будутъ уже совпадать. Направленіе давленія жидкости пересѣкается съ осью плаванія A'B' въ точкѣ M, которая носитъ названіе *метацентра*. Положеніе этой точки относительно ц. тяжести опредѣляетъ условія равновѣсія. На самомъ дѣлѣ, давленіе воды P и вѣсъ судна Q, какъ видно изъ чертежа, образуютъ пару, которая заставитъ судно возвратиться въ первоначальное положеніе; слѣд., судно будетъ находиться въ устойчивомъ равновѣсіи. Легко видѣть, что для *устойчивости равновѣсія достаточно, чтобы ц. тяжести судна (или другаго какого нибудь тѣла) лежалъ ниже метацентра*. Это условіе будетъ соблюдено, если *центръ тяжести лежитъ ниже ц. давленія*. Поэтому для увеличенія устойчивости судовъ употребляютъ балластъ, вліяніемъ котораго ц. тяжести судна приближается къ его дну. Обратно равновѣсіе плавающаго тѣла будетъ *неустойчивое*, когда ц. тяжести его лежитъ *выше метацентра*; наконецъ, тѣло будетъ въ *безразличномъ* равновѣсіи, когда эти точки совпадаютъ.



Фиг. 122.

Замѣчаніе. Если ц. тяжести тѣла лежитъ выше ц. давленія, то метацентръ можетъ быть выше и ниже ц. тяжести, слѣд., равновѣсіе можетъ быть устойчивое и неустойчивое. Напр., если плавающее тѣло имѣетъ цилиндрическ. форму, то его центръ тяжести будетъ всегда выше ц. давленія. Но метацентръ будетъ *ниже* ц. тяжести, когда цилиндръ имѣетъ вертикальное положеніе, и *выше*—когда онъ плаваетъ въ горизонтальномъ положеніи. Въ первомъ случаѣ равновѣсіе будетъ *неустойчивое*, во второмъ—*устойчивое*.

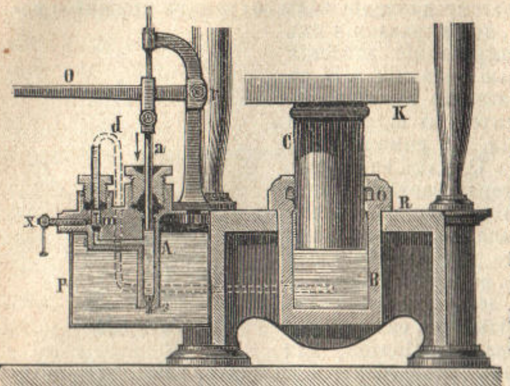
125. Гидравлическій прессъ. Гидравлическій прессъ состоитъ изъ двухъ сообщающихся цилиндровъ A и B, различныхъ діаметровъ (фиг. 123 и 124), въ которыхъ движутся поршни. Поршень C большаго цилиндра (B) наз. *нырякомъ* и снабжается доскою K, на которой помѣщаются предметы, назначенные для прессованія. Малый цилиндръ A съ



Фиг. 123.

[1]) Вѣсъ вытѣсняемой судномъ воды наз. *водоизмѣщеніемъ* судна; оно равно вѣсу судна вмѣстѣ съ нагрузкою, вѣсомъ движущаго механизма (паровой машины съ котломъ) и пр. Водоизмѣщеніе выражается обыкновенно въ тоннахъ, каждая въ 1000 klg.

поршнемъ a представляетъ насосъ, накачивающій воду изъ резервуара P по трубкѣ d въ цилиндръ B. Поршень насоса приводится въ движеніе посредствомъ рычага втораго рода Or, качающагося около оси r. При каждомъ размахѣ поршня a часть воды входитъ въ цилиндръ B, причемъ ныряло C медленно поднимается и передаетъ давленіе, постепенновозростающее, прессуемому предмету, помѣщенному между доскою K и неподвижною доскою MN, прочно укрѣпленною къ вертикальнымъ колоннамъ.



Фиг. 124.

Пусть P будетъ движущее усиліе, дѣйствующее на рычагъ Or, L и l — длинное и короткое плечи его, P′ — давленіе, передаваемое поршню насоса, f, F, d и D — площади и діаметры поршней a и C, и, наконецъ, Q — давленіе, передаваемое водою нырялу C. Тогда по теоріи рычага получимъ, не принимая въ разсчетъ тренія: $P' = P\frac{L}{l}$; но по принципу Паскаля: $Q = P'\frac{F}{f} = P'\left[\frac{D}{d}\right]^2$, откуда, подставивъ вмѣсто P′ его величину, получимъ:

$$Q = P\frac{L}{l}\left[\frac{D}{d}\right]^2 \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

Такимъ образомъ, *небольшимъ усиліемъ можно произвести огромное давленіе на ныряло* C. Въ дѣйствительности же давленіе Q ныряла на прессуемый предметъ *меньше вычисленнаго* вслѣдствіе сильнаго тренія поршней о стѣнки цилиндровъ. Можно принять, что *на треніе поршней теряется до 25°/₀ движущаго усилія.*

Примѣръ: если $\frac{L}{l} = 6$, D=40 c; d=3 c; P=45 klg., то $Q = 45.6.\frac{1600}{9} =$ = 48000 klg. или около 37,5 атмосферъ. Считая же 25°/₀ потери движущаго усилія на треніе поршней: Q=36000 klg., или около 28 атмосферъ.

126. Вслѣдствіе огромнаго давленія на ныряло вода стремится пробиться въ отверстіе, сдѣланное въ цилиндрѣ B для прохода ныряла. Для устраненія этого просачиванія въ кольцеобразной выемкѣ, сдѣланной въ верхней утолщенной части цилиндра, помѣщается кожаное кольцо, или такъ наз. *кожаный воротникъ* (фиг. 125), который давленіемъ воды постоянно прижатъ къ ныряду, такъ что проса-



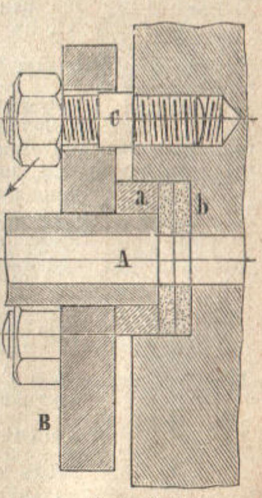
Фиг. 125.

чиваніе дѣлается почти невозможнымъ [1]). На фиг. 126 представлено въ $^1/_2$ нат. вел. расположеніе кожанаго воротника для гидравлическаго пресса въ 120000 kg. полнаго давленія. Здѣсь *a* и *b* суть деревянныя подставки, служащія для установки воротника въ его гнѣздѣ. Не меньше вниманія должно быть обращено также на соединеніе водопроводной трубки d со стаканомъ B. Какъ показано на фиг. 127, между крѣпко припаяннымъ флянцемъ a трубки A (мѣдной или желѣзной) и стаканомъ проложены кожаные кружки b, играющіе роль набивки, которая сильно сжимается вторымъ флянцемъ (подвижнымъ) B при помощи болтовъ (шпилекъ) C, ввинчиваемыхъ прямо въ стаканъ. Для выпусканія воды изъ пресса, по окончаніи его дѣйствія, служитъ кранъ x. По выпускѣ воды ныряло дѣйствіемъ своего вѣса опускается въ первоначальное положеніе. Для предупрежденія разрыва частей пресса вслѣдствіе слишкомъ значительнаго возростанія давленія воды, прессъ снабжается *предохранительнымъ клапаномъ* (§ 247), который открывается когда давленіе превосходитъ извѣстный предѣлъ, за которымъ можетъ послѣдовать разрывъ.



Фиг. 126.

Гидравлическій прессъ имѣетъ обширныя примѣненія въ промышленности. Его употребляютъ на суконныхъ фабрикахъ для прессованія суконъ и др. матерій; на маслобойныхъ заводахъ—для выжиманія масла изъ сѣмянъ; въ стеариновомъ производствѣ для отжиманія стеарина; онъ употребляется для прессованія волокнистыхъ и пористыхъ тѣлъ, какъ, напр., хлопчатой бумаги, торфа, сѣна, соломы и т. п., съ цѣлью сообщить имъ малый объемъ въ видахъ удобства перевозки. Посредствомъ гидравлическаго пресса испытывается прочность желѣзныхъ цѣпей, приготовляемыхъ для флота, якорей и строительныхъ матеріаловъ передъ ихъ употребленіемъ; имъ пользуются также для поднятія огромныхъ тяжестей, для выдавливанія свинцовыхъ трубъ, для насаживанія вагонныхъ колесъ на оси и т. п.



Фиг. 217.

[1]) Первая идея машины, въ которой можно было бы увеличивать силу при посредствѣ жидкости, принадлежитъ *Паскалю*; но онъ не могъ преодолѣть затрудненія, представляемаго просачиваніемъ воды. Осуществленіе его идеи принадлежитъ англ. инж. *Bramah* (1748 — 1827), который придумалъ кожаный воротникъ и далъ прессу его нынѣшнее устройство (въ 1796 г.).

ЗАДАЧИ.

46. Сосудъ, наполненный водою, движется по горизонтальному направленію съ постояннымъ ускореніемъ w. Какую форму имѣетъ свободная поверхность воды?

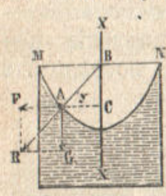
Рѣшеніе. Въ началѣ движенія частицы воды, вслѣдствіе инерціи, поднимаются къ задней стѣнкѣ сосуда, но затѣмъ, когда всѣ частицы пріобрѣтутъ одинаковое ускореніе, установится равновѣсіе въ сосудѣ. Каждую частицу A (фиг. 128) свободной поверхности можно разсматривать (не принимая во вниманіе давленія атмосферы), какъ подверженную дѣйствію вѣса $G=mg$ и сопротивленія инерціи, равнаго и прямо противоположнаго движущей силѣ $P=mw$. Равнодѣйствующая R этихъ двухъ силъ должна быть нормальна къ элементу свободной поверхности при точкѣ A. Называя буквою α уголъ, составляемый этимъ элементомъ съ горизонтомъ, получимъ: $mw:mg=\mathrm{Sin}\alpha:\mathrm{Cos}\alpha$, откуда $\mathrm{tang}\alpha=\frac{w}{g}$. Такъ какъ $\frac{w}{g}$ есть величина постоянная, то заключаемъ, что уголъ α одинаковъ для всѣхъ элементовъ свободной поверхности, которая, слѣд., есть плоскость, наклонная къ горизонту подъ угломъ α.



Фиг. 128.

47. Сосудъ, наполненный водою, вращается около вертикальной оси съ постоянною угловою скоростью ω. Опредѣлить форму свободной поверхности.

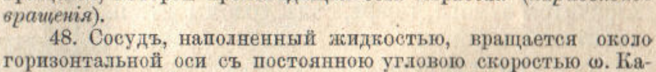
Рѣшеніе. На частицу A (фиг. 129), ордината которой $y=AC$, дѣйствуетъ двѣ силы: вѣсъ $G=mg$ и центробѣжная сила $F=m\omega^2y$. Равнодѣйствующая R этихъ силъ должна быть нормальна къ свободной поверхности. Продолжимъ направленіе равнодѣйствующей до пересѣченія съ осью вращенія XX въ точкѣ B. Треугольники ABC и ARG подобны, поэтому: $BC:y=mg:m\omega^2y$, откуда $BC=\frac{g}{\omega^2}$. Отрѣзокъ BC оси, заключенный между ординатою какойлибо точки кривой и нормалью, проведенною черезъ ту же точку, носитъ въ геометріи названіе *поднормали*. Такъ какъ g и ω суть величины постоянныя, то поднормаль BC для каждой точки кривой MAN есть также величина постоянная, что составляетъ характеристическое свойство параболы. Слѣд., свободная поверхность есть поверхность вращенія, которой производящая есть парабола (*параболоидъ вращенія*).

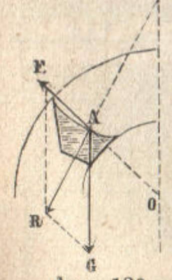


Фиг. 129.

48. Сосудъ, наполненный жидкостью, вращается около горизонтальной оси съ постоянною угловою скоростью ω. Какую форму имѣетъ свободная поверхность?

Рѣшеніе. Равнодѣйствующая R (фиг. 130) центробѣжной силы F и вѣса G, дѣйствующихъ на частицу A, встрѣчаетъ вертикаль OC въ точкѣ C. Треугольники OAC и ARG подобны: $OC:OA=mg:m\omega^2OA$, откуда: $OC=\frac{g}{\omega^2}=\mathrm{Const}$. Нормали всѣхъ точекъ свободной поверхности пересѣкаютъ горизонтальную прямую, проведенную чрезъ точку C, слѣд., свободная поверхность есть цилиндрическая поверхность, ось которой проходитъ черезъ C.





Фиг. 130.

49. По наклонной плоскости движется сосудъ, наполненный водою. Какую форму и положеніе имѣетъ свободная поверхность?

50. Какъ велико давленіе на дно призматическаго сосуда, наполненнаго водою, если площадь дна=0,5 кв. м. и высота воды=3 м.?

51. Опредѣлить высоту воды въ сосудѣ, площадь дна котораго=0,12 кв. м., а давленіе на дно=24 klg.

52. Какъ велико давленіе на кв. метръ дна судна на глубинѣ 3,2 м.?

53. Одна изъ боковыхъ стѣнокъ сосуда, имѣющая форму прямоугольника, шириною 1,25 м. и высотою 2,2 м., наклонена къ горизонту. Сосудъ наполненъ до краевъ водою. Опредѣлить давленіе на стѣнку, если высота сосуда=1,57 м.

54. Сосудъ, имѣющій горизонтальное дно, наполненъ капельною жидкостью и приведенъ въ движеніе по вертикальному направленію съ ускореніемъ w. Какъ велико давленіе на единицу площади дна, если напоръ = h. Изслѣдовать различные случаи, при этомъ представляющіеся.

55. Въ горизонтальномъ днѣ сосуда сдѣлано отверстіе въ 25 кв. с., которое закрыто задвижкою; высота воды въ сосудѣ = 1,5 м. Какую силу нужно приложить къ задвижкѣ, чтобы открыть отверстіе, если коефф. тренія f = 0,5?

56. Коническій клапанъ имѣетъ слѣдующіе размѣры: діам. нижняго основанія $d = 1''$, толщина клапана $= \frac{1''}{3}$, уголъ наклона производящей $\alpha = 45^\circ$. Клапанъ выдерживаетъ давленіе столба воды высотою $24'$. Опредѣлить высоту столба воды, способнаго открыть клапанъ (не принимая въ разсчетъ вѣса клапана).

57. Вертикальный цилиндръ, имѣющій радіусъ r и длину l, сообщенъ со столбомъ воды, уровень котораго стоитъ на h выше середины сосуда. Опредѣлить давленіе на верхнее и нижнее основанія цилиндра.

58. Два вертикальныхъ цилиндра, имѣющіе радіусы r и R, наполнены отчасти водою и сообщены между собою трубкою, идущею отъ дна одного сосуда къ дну другаго. Въ цилиндрахъ заключены поршни, изъ которыхъ первый на h стоитъ выше втораго и нагруженъ P klg. Какой грузъ надо положить на второй поршень, чтобы удержать ихъ въ равновѣсіи (не принимая въ разсчетъ безполезныхъ сопротивленій).

59. Шлюзовое окно закрыто дубовымъ щитомъ высотою $5'$, шириною $4'$ и толщиною $2''$. Горизонтъ воды передъ щитомъ на $3'$ выше его верхняго края. Какъ велика сила, потребная для поднятія щита, если уд. вѣсъ дуба 1,2 и коефф. тренія f = 0,5 (не принимая и принявъ въ разсчетъ давленіе воды на верхнюю и нижнюю грани щита).

60. Поперечное сѣченіе плотины имѣетъ форму трапеціи ABCD. Какую длину (x) должно имѣть верхнее основаніе BC трапеціи, чтобы вода не могла *сдвинуть* плотины, если высота плотины = h, нижнее основаніе = a + x + b (a есть гориз. проекція наклонной стороны AB, прилегающей къ водѣ, b — гориз. проекція CD, прилегающей къ сушѣ), длина плотины = 1 и уд. вѣсъ матеріала плотины (земли) равенъ δ.

61. Нѣкоторое тѣло вѣситъ p_1 въ жидкости, которой уд. вѣсъ δ_1, и p_2 — въ другой жидкости, имѣющей уд. в. δ_2. Опредѣлить абсолютный вѣсъ P, объемъ v и уд. в. δ тѣла.

62. Кусокъ мрамора вѣситъ въ воздухѣ 100 klg., а подъ водою 62,5 klg. Найдти его уд. вѣсъ.

63. Требуется приготовить 10 klg. сплава изъ золота и серебра съ уд. вѣсомъ 13. Сколько пойдетъ въ сплавъ klg. золота и серебра, если уд. вѣсъ перваго=19,25, а втораго 10,5.

64. Въ гидравлическомъ прессѣ діам. ныряла = $1{,}5'$, а вѣсъ ныряла съ доскою 10 пуд.; насосный поршень имѣетъ $d=1''$; отношеніе плечъ рычага=6. Безполезныя сопротивленія поглощаютъ 30% движущаго усилія. Какъ велико давленіе ныряла *на прессуемый предметъ* и какъ велико давленіе въ стаканѣ (въ атм.), если насосъ качаетъ 1 рабочій съ усиліемъ въ 45 фунт.?

ГЛАВА VI.

Гидродинамика [1]).

Задача гидродинамики.—Гипотезы установившагося движенія и параллельности струекъ.—Теорема Даніила Бернулли.—Гидродинамическое давленіе.—Истеченіе изъ отверстія, сдѣланнаго въ днѣ сосуда.—Повѣрка закона Торричелли опытомъ. — Истеченіе газовъ и паровъ—Теоретическій и дѣйствительный расходъ; явленіе сжатія струи.—Коеффиціенты скорости, сжатія и расхода. — Истеченіе изъ боковаго отверстія. — Истеченіе черезъ цилиндрическую насадку — Истеченіе черезъ коническую расходящуюся насадку. — Истеченіе черезъ щитовое окно.—Истеченіе черезъ водосливъ.—Гидравлическія вредныя сопротивленія.—Средняя скорость потока.—Движеніе воды въ трубахъ; скорость истеченія.—Потери напора на гидравлическія сопротивленія — Общій видъ ур. Бернулли — Теоретическая формула средней скорости теченія воды въ каналахъ и рѣкахъ.—Эмпирическія формулы средней скорости.—Поплавки и тахометры.—Давленіе жидкости на твердое тѣло.—Задачи.

127. Задача гидродинамики. *Гидродинамика* или *динамика жидкихъ тѣлъ* разсматриваетъ обстоятельства движенія жидкостей. Задача гидродинамики гораздо сложнѣе задачи гидростатики и состоитъ не только въ опредѣленіи давленія въ каждой точкѣ жидкости, но также въ опредѣленіи скорости каждой точки по величинѣ и направленію и сверхъ того плотности жидкости въ каждой точкѣ, если жидкость неоднородна. Не вдаваясь въ выводъ общихъ уравненій движенія жидкостей, мы ограничимся разсмотрѣніемъ обстоятельствъ движенія воды въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ, имѣющихъ наиболѣе важное практическое значеніе. Сюда относятся: 1) *истеченіе воды изъ отверстій*, 2) *движеніе воды по трубамъ*, 3) *движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ*.

128. Гипотезы установившагося движенія и параллельности струекъ. Въ основаніе дальнѣйшихъ изслѣдованій примемъ двѣ слѣдующія гипотеты: *гипотезу установившагося движенія* и *гипотезу параллельности струекъ*.

Подъ *установившимся движеніемъ* будемъ разумѣть такое движеніе, при которомъ *для данной точки пространства* всѣ обстоятельства движенія жидкости одинаковы для всѣхъ частицъ, про-

[1]) Начало гидродинамики, какъ науки, было положено ученикомъ Галилея *Торричелли* (1608—1647) открытіемъ закона истеченія жидкостей изъ отверстій (§ 132), который былъ подтвержденъ въ 1686 г. многочисленными опытами *Маріотта* (1620—1684), ит. уч. *Гвильельмини* (въ 1690 г.) и *Полени* (въ 1718 г.) который открылъ при этомъ явленіе *сжатія струи* (§ 136). Болѣе точная формула истеченія была выведена въ 1738 *Д. Бернулли* (1700—1783) на основѣ закона живыхъ силъ (§ 132). Дальнѣйшее развитіе гидродинамикѣ было дано трудами D'Alembert'a, Эйлера, Навье и др. ученыхъ.

ходящихъ черезъ эту точку; другими словами, *при установившемся движеніи скорость, направленіе движенія и давленіе въ каждой точкѣ пространства одинаковы для всѣхъ частицъ жидкости, проходящихъ черезъ эту точку.* Всѣ онѣ описываютъ одну и ту же траекторію. Совокупность частицъ жидкости, движущихся по общей траекторіи, образуетъ жидкую *струйку.* Установившееся движеніе можетъ быть и неравномѣрнымъ, такъ что въ разныхъ точкахъ траекторіи скорость можетъ быть различна, но въ данной точкѣ траекторіи всѣ послѣдующія частицы пріобрѣтаютъ одну и ту же скорость по величинѣ и направленію. Какъ примѣръ установившагося движенія, можно указать на движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ; въ этомъ случаѣ удовлетворяются почти вполнѣ всѣ характеристыческія условія установившагося движенія.

По второй гипотезѣ будемъ принимать, что всѣ частицы жидкости въ данномъ поперечномъ сѣченіи движутся перпендикулярно къ сѣченію, т. е. *по линіямъ, параллельнымъ между собою.* Это допущеніе имѣетъ цѣлью сдѣлать удобнымъ примѣненіе закона живыхъ силъ къ движенію жидкостей.

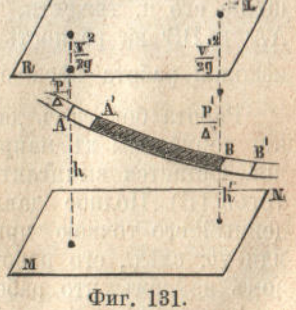
Наконецъ, будемъ принимать, что во время движенія внутри жидкости не образуется пустотъ, т. е. не происходитъ разрыва струекъ (*условіе неразрывности струекъ*).

Такимъ образомъ, на основаніи этихъ допущеній, мы должны принять, что *объемы протекающей въ равныя времена жидкости черезъ различныя поперечныя сѣченія должны быть равны между собою.* Поэтому, означая буквами F и F' два различныя сѣченія, v и v' среднія скорости частицъ жидкости въ этихъ сѣченіяхъ, будемъ имѣть условіе неразрывности струекъ: $Fv = F'v'$, откуда:

$$\frac{v}{v'} = \frac{F'}{F},$$

т. е. *среднія скорости въ различныхъ сѣченіяхъ обратнопропорціональны ихъ площадямъ.*

129. Теорема Даніила Бернулли. Вообразимъ безконечно-тонкую струйку жидкости AB (фиг. 131), обладающую *установившимся движеніемъ*. Назовемъ буквами f, p, v и h—сѣченіе, давленіе на единицу площади, скорость и высоту центра тяжести сѣченія при точкѣ A (надъ произвольной горизонтальной плоскостью MN) и буквами f', p', v' и h' соотвѣтственныя величины для точки B. Произведенія fv, f'v' представятъ такъ наз. *расходъ, т. е. объемъ жидкости, протекающей въ единицу времени черезъ сѣченія A и B* Этотъ расходъ одинаковъ въ обоихъ



Фиг. 131.

сѣченіяхъ, такъ какъ жидкость принимается нами совершенною,

а движеніе установившимся. Назовемъ этотъ расходъ буквою Q; тогда объемъ, протекающій въ теченіе чрезвычайно малаго промежутка времени θ, будетъ равенъ $Q\theta$ во всѣхъ сѣченіяхъ струйки AB. Если скорости различны, то струйка будетъ съ перемѣннымъ сѣченіемъ и, очевидно, гдѣ скорость v будетъ велика, тамъ площадь сѣченія f будетъ мала, и наоборотъ.

Разсмотримъ движеніе массы жидкости, заключающейся между сѣченіями A и B въ теченіе безконечно малаго промежутка времени θ, по прошествіи котораго масса жидкости продвинется въ положеніе A'B'. и приложимъ *теорему живыхъ силъ* для этихъ двухъ положеній. Заштрихованная часть жидкости A'B, общая обоимъ положеніямъ, заключаетъ въ себѣ частицы, обладающія одинаковою массою и скоростями какъ въ началѣ, такъ и въ концѣ времени θ; слѣд., соотвѣтственныя живыя силы этого объема въ началѣ и концѣ будутъ между собою равны и сократятся въ разности. Остается опредѣлить разность живыхъ силъ массы BB' и массы AA'. Общій объемъ, занимаемый этими массами, равенъ $Q\theta$. Поэтому, если назовемъ Δ вѣсъ единицы объема жидкости, то $\frac{\Delta Q\theta}{2g}$ представитъ массу разсматриваемаго объема,а $\frac{\Delta Q\theta}{2g}(v'^2-v^2)$—приращеніе живой силы объема AB при переходѣ его въ положеніе A'B'. Это приращеніе живыхъ силъ надо приравнять работѣ силъ, т. е. вѣса и давленій.

По общему способу, работа вѣса опредѣляется, помножая полный вѣсъ матеріальной системы на высоту, положительную или отрицательную, на которую опустился по вертикали центръ тяжести. Вмѣсто того, чтобы слѣдовать въ данномъ случаѣ этому правилу, замѣтимъ, что положеніе ц. тяжести системы въ положеніи A'B' нисколько не измѣнится, если мы предположимъ, что объемъ жидкости A'B остался въ покоѣ и что только объемъ AA' перешелъ въ положеніе B'B. Отсюда слѣдуетъ, что вмѣсто того, чтобы помножать вѣсъ всего объема AB на вертикальное перемѣщеніе его ц. тяжести, достаточно помножить общій вѣсъ массъ AA' и BB' на разность высотъ ихъ ц. тяжести. Такимъ образомъ, искомая работа вѣса будетъ равна $\Delta Q\theta\left\{h-h'\right\}$.

Работа боковыхъ давленій будетъ равна нулю, ибо эти давленія нормальны къ направленію перемѣщенія ихъ точекъ приложенія. Остается вычислить работы давленій въ истокѣ (A) и въ устьѣ (B). Полное давленіе на сѣченіе A равно pf и путь, пройденный его точкою приложенія по направленію силы, равенъ AA' или $v\theta$; слѣд., его работа будетъ: $pfv\theta=pQ\theta$. Подобнымъ же образомъ найдемъ, что работа давленія въ B (отрицательная) будетъ равна:—$p'Q\theta$.

Уравненіе живыхъ силъ получитъ видъ:

$$\frac{\Delta Q\theta}{2g}(v'^2 - v^2) = \Delta Q\theta(h - h') + pQ\theta - p'Q\theta,$$

или, раздѣливъ на $\Delta Q\theta$:

$$\frac{v'^2}{2g} - \frac{v^2}{2g} = h - h' + \frac{p}{\Delta} - \frac{p'}{\Delta},$$

или, наконецъ

$$h + \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} = h' + \frac{p'}{\Delta} + \frac{v'^2}{2g} = H \quad . \ . \ . \ . \ (30)$$

Въ этомъ ур. h есть высота нѣкоторой частицы жидкости надъ взятою нами горизонтальною плоскостью; $\frac{v^2}{2g}$ — высота, соотвѣтствующая скорости v, и $\frac{p}{\Delta}$ — піезометрическая [1]) высота или высота, измѣряющая давленіе (§ 116); наконецъ, H есть постоянная величина. Такимъ образомъ, *для всѣхъ положеній частицы совершенной жидкости (на ея траекторіи), обладающей установившимся движеніемъ, сумма высотъ* h, $\frac{p}{\Delta}$ и $\frac{v^2}{2g}$ *есть величина постоянная.* Въ этомъ заключается теорема Д. Бернулли, выражаемая ур. (30). Не трудно видѣть, что *теорема Бернулли выражаетъ законъ сохраненія энергіи въ примѣненіи къ совершенной жидкости, т. е. что во всякой точкѣ жидкости сумма потенціальной и кинетической энергіи остается постоянною:* при увеличеніи первой уменьшается вторая и обратно.

Если для различныхъ частицъ построимъ эту сумму, отложивъ ея по перпендикулярамъ къ плоскости MN, то концы этихъ перпендикуляровъ опредѣлятъ горизонтальную плоскость RL, которая носитъ названіе *плоскости напора.*

130. Теорема Бернулли и всѣ заключенія, изъ нея выводимыя, справедливы въ предположеніи совершенной жидкости, т. е. при отсутствіи тренія частицъ какъ между собою, такъ и о стѣнки сосудовъ. Эта гипотеза ведетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ увидимъ дальше, къ большимъ ошибкамъ. Такъ, при движеніи жидкости въ длинныхъ трубахъ, гидравлическія вредныя сопротивленія поглощаютъ значительную часть энергіи жидкости. Вслѣдствіе этой потери энергіи происходитъ различіе въ возвышеніи плоскостей напора надъ произвольно избранною горизонтальною плоскостью, соотвѣтствующихъ ряду послѣдовательныхъ частицъ жидкости. Эти разности носятъ названіе *потерь напора* на гидравлическія сопро-

---

[1]) *Піезометромъ* наз. стеклянная трубка, открытая съ обоихъ концевъ и служащая для опредѣленія давленія въ различныхъ мѣстахъ жидкости, находящейся въ движеніи. Удерживая эту трубочку въ вертикальномъ положеніи, погружаютъ одинъ конецъ ея въ жидкость и замѣчаютъ высоту h, до которой поднимается эта жидкость въ трубочкѣ. а затѣмъ, зная высоту h, опредѣляютъ искомое давленіе p' по формулѣ: $p' = p + \Delta h$ (§ 116).

тивленія. Потери напора происходятъ также, какъ увидимъ ниже, вслѣдствіе быстрыхъ расширеній, съуженій или закругленій сосуда, въ которомъ движется жидкость, поэтому теорема Бернулли справедлива только для случая движенія въ сосудѣ съ постепенно измѣняющимся сѣченіемъ.

131. Гидродинамическое давленіе. Изъ ур. (30) имѣемъ:

$$p' = p + \Delta(h - h') + \frac{\Delta}{2g}(v^2 - v'^2) \ . \ . \ . (31)$$

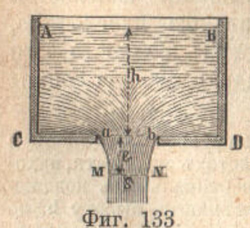
Но $p + \Delta(h - h')$ есть гидростатическое давленіе въ разсматриваемомъ сѣченіи, поэтому давленіе p' внутри движущейся жидкости, вообще говоря, не равно гидростатическому. Это давленіе наз. *гидродинамическимъ*. Оно *больше* гидростатическаго для тѣхъ сѣченій, площадь которыхъ болѣе площади истока, т. е. для которыхъ $v' < v$ (§ 128); оно *равно* гидростатическому для тѣхъ сѣченій площадь которыхъ равна площади истока ($v = v'$), и, наконецъ, оно *меньше* гидростатическаго для тѣхъ сѣченій, площадь которыхъ менѣе площади истока ($v' > v$). Если v' очень велико, сравнительно съ v, что будетъ если сѣченіе F' (фиг. 132) очень мало по сравненію съ сѣченіемъ F, то можетъ случиться, что отрицательная величина $\frac{\Delta}{2g}(v^2 - v'^2)$ числено будетъ больше $p + \Delta h_0$; тогда гидродинамическое давленіе p' будетъ *отрицательное*: вода не давитъ вовсе на стѣнки сосуда; напротивъ, струя имѣетъ стремленіе еще болѣе сжаться. Если въ такомъ мѣстѣ сосуда сдѣлать отверстіе, то вода не будетъ вытекать изъ него, воздухъ же будетъ всасываться въ сосудъ. Если приставить къ отверстію трубку, вертикальное колѣно которой погружено въ сосудъ съ водою, то вода поднимется на высоту, соотвѣтствующую отрицательному гидродинамическому давленію.



Фиг. 132.

I. ИСТЕЧЕНІЕ ИЗЪ ОТВЕРСТІЙ.

132. Истеченіе изъ отверстія, сдѣланнаго въ днѣ сосуда. Положимъ, что имѣемъ сосудъ ABCD (фиг. 133), наполненный капельною жидкостью, въ днѣ котораго сдѣлано отверстіе ab. Опредѣлимъ скорость истеченія жидкости изъ отверстія. При этомъ предположимъ, что движеніе жидкости установившееся, такъ что обстоятельства истеченія не измѣняются со временемъ, для чего необходимо, чтобы уровень жидкости въ сосудѣ былъ неизмѣнный, т. е. чтобы въ сосудъ притекало столько же жидкости, сколько изъ него вытекаетъ.



Фиг. 133

Пусть F и f будутъ площади сѣченій AB и ab; p_0 и p—давленіе атмосферы на ед. свободной поверхности и давленіе отъ среды, въ которую вытекаетъ жидкость; v_0 и v—скорость пониженія частицъ на свободной поверхности и скорость истеченія; наконецъ пусть h будетъ глубина погруженія ц. тяжести отверстія подъ свободною поверхностью или напоръ. Тогда, по теоремѣ Бернулли, получимъ, принявъ за основную плоскость MN (фиг. 130) горизонтъ AB (фиг. 132):

$$h + \frac{p_0}{\Delta} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} \; . \; . \; . \; . \; . \; (a)$$

Но $Fv_0 = fv$, ибо объемы, протекающіе въ равныя времена черезъ различныя сѣченія сосуда, равны между собою; поэтому:

$$h + \frac{p_0}{\Delta} + \left(\frac{f}{F}\right)^2 \frac{v^2}{2g} = \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g},$$

откуда:

$$v = \sqrt{2g \left\{ \frac{h + \frac{p_0 - p}{\Delta}}{1 - \left[\frac{f}{F}\right]^2} \right\}} \; . \; . \; . \; . \; (32)$$

Эта формула носитъ названіе *формулы Д. Бернулли*, который первый ее вывелъ.

Въ частномъ случаѣ, когда площадь f отверстія весьма мала въ сравненіи съ площадью F свободной поверхности, формула (32) можетъ быть представлена въ видѣ:

$$v = \sqrt{2g\left\{h + \frac{p_0 - p}{\Delta}\right\}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (33)$$

Если при томъ давленіе p въ отверстіи и давленіе p_0 на свободной поверхности будутъ одинаковы (напр., когда струя жидкости вытекаетъ въ атмосферу), то

$$v = \sqrt{2gh} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (34)$$

т. е. въ этомъ случаѣ *скорость истеченія жидкости равна скорости, пріобрѣтаемой тѣломъ при свободномъ паденіи съ высоты, равной напору.*

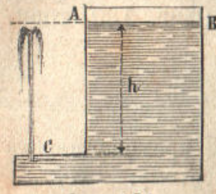
Послѣдняя формула была найдена въ 1643 г. итальянскимъ ученымъ *Торричелли*, ранѣе формулы Бернулли, изъ наблюденій надъ высотою, до которой поднимается вода въ фонтанахъ.

133. Истеченіе черезъ затопленное отверстіе. Если нижняя часть сосуда, изъ котораго вытекаетъ жидкость погружена въ резервуаръ, заключающій такую же жидкость, на нѣкоторую глубину h подъ его свободною поверхностью, то для давленія p получимъ: $p = p_0 + \Delta h'$, гдѣ p_0 есть общее для обоихъ резервуаровъ давленіе

на ед. свободной поверхности. Подобный случай истеченія наз. *истеченіемъ черезъ затопленное отверстіе.* Для него получимъ:

$$v = \sqrt{2g\,(h - h')} \;\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (35)$$

134. Повѣрка закона Торричелли опытомъ. Въ справедливости закона Торричелли можно убѣдиться посредствомъ слѣдующаго опыта. Положимъ, что имѣемъ сосудъ ABC (фиг. 134), наполненный водою до уровня AB и снабженный боковой трубкою C, въ которой сдѣлано отверстіе, обращенное вверхъ. Если открыть отверстіе, то струя воды поднимется почти до горизонта AB, а это показываетъ, что частицы воды обладаютъ въ моментъ выхода изъ отверстія скоростью, соотвѣтствующею высотѣ h, и которая, какъ извѣстно, выражается формулою: $v = \sqrt{2gh}$. На опытѣ струя не поднимается до полной высоты h, вслѣдствіе различныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ на пути водою: тренія частицъ ея о стѣнки сосуда и трубки, соударенія частицъ, сопротивленія воздуха и т. п.



Фиг. 134.

135. Истеченіе газовъ и паровъ. Выведенныя выше формулы, относящіяся къ истеченію капельныхъ жидкостей, справедливы и для газовъ, если только внутреннее давленіе мало отличается отъ внѣшняго $\left(\text{на}\,\frac{1}{19}\,\text{до}\,\frac{1}{15}\right)$, ибо только въ этомъ случаѣ, принимая плотность газа или пара постоянною, можно допустить, что черезъ всѣ сѣченія проходятъ равные объемы упругой жидкости. Въ практикѣ почти всегда площадь отверстія весьма мала по сравненію съ площадью сѣченія резервуара, изъ котораго вытекаетъ газъ; поэтому мы можемъ примѣнить для газовъ формулу (33). Пренебрегая высотою h, которая весьма мала въ сравненіи съ $\frac{p_0}{\Delta}$, ибо плотность газовъ или паровъ сравнительно весьма мала, и, слѣд., высота $\frac{p_0}{\Delta}$ столба этого газа способнаго своимъ вѣсомъ произвести давленіе p_0, очень велика, будемъ имѣть:

$$v = \sqrt{2g\,\frac{p_0 - p}{\Delta}} \;\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Эта формула, предложенная *Бернулли*, была подтверждена опытами *Жирара* и *Д'Обюиссона*.

136. Теоретическій и дѣйствительный расходъ. Явленіе сжатія струи. Одинъ изъ главнѣйшихъ вопросовъ, представляющихся при истеченіи жидкости изъ отверстій, состоитъ въ опредѣленіи *количества жидкости, вытекающей при данномъ напорѣ въ секунду*, или такъ наз. *расхода*. Предполагая, что направленіе движенія всѣхъ частицъ въ моментъ прохожденія ихъ черезъ отверстіе, перпендикулярно къ его плоскости, должно принять расходъ равнымъ произведенію изъ площади F отверстія на скорость истече-

нія v. Поэтому, называя расходъ буквою Q и принимая для выраженія скорости формулу Торричелли, можемъ написать:

$$Q = Fv = F\sqrt{2gh} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (37)$$

Расходъ, вычисленный по этой формулѣ, наз. *теоретическимъ*. Непосредственное измѣреніе показываетъ, однако, что дѣйствительный расходъ всегда меньше теоретическаго. Такое несогласіе теоріи съ опытными данными происходитъ отъ того, что при выводѣ теоретическихъ формулъ не были приняты во вниманіе гидравлическія сопротивленія, и въ особенности потому, что въ основу вычисленій была принята гипотеза параллельности струекъ, между тѣмъ какъ на самомъ дѣлѣ частицы жидкости, притекающія къ отверстію, движутся не по нормальнымъ направленіямъ къ плоскости отверстія, но по нѣкоторымъ кривымъ (фиг. 133); при этомъ, вслѣдствіе соударенія между частицами и тренія о стѣнки сосуда, теоретическая скорость истеченія нѣсколько уменьшается. Практическій коэффиціентъ, на который надо помножить теоретическую скорость истеченія, чтобы получить дѣйствительную скорость, наз. *коэффиціентомъ скорости*, который мы будемъ обозначать буквою φ. Такимъ образомъ, истинная скорость v' соотвѣтствующая напору h, будетъ: $v' = \varphi\sqrt{2gh}$. Вслѣдствіе непараллельности струекъ происходитъ особое явленіе, замѣченное въ первый разъ ит. уч. Полени и наз. *сжатіемъ* струи. Явленіе это состоитъ въ томъ, что струя по выходѣ изъ отверстія постепенно съуживается, такъ что на нѣкоторомъ разстояніи отъ него площадь поперечнаго сѣченія струи достигаетъ наименьшей величины, и только черезъ это сѣченіе, наз. *сжатымъ сѣченіемъ струи*, всѣ частицы протекаютъ, сохраняя къ нему нормальное направленіе. Такимъ образомъ, если площадь отверстія будетъ F, площадь сжатаго сѣченія F', то $F' = \alpha F$, гдѣ α есть такъ наз. *коэффиціентъ сжатія струи*.

Дѣйствительный расходъ Q', равный произведенію площади F' сжатой струи на дѣйствительную скорость v', будетъ равенъ:

$$Q' = F' v' = \alpha \varphi F \sqrt{2gh} = \mu Q \; . \; . \; . \; . \; . \; (38)$$

гдѣ $\mu = \alpha\varphi$ есть такъ наз. *коэффиціентъ расхода*.

137. Численныя величины коэффиціентовъ скорости, сжатія и расхода. Опыты *Борда*, *Мичелотти*, *Эйтельвейна* и др. показали, что *коэфф. скорости* φ *зависитъ исключительно отъ того, въ тонкой или толстой стѣнкѣ сдѣлано отверстіе.*

Въ случаѣ отверстія, сдѣланнаго въ тонкой стѣнкѣ (толщина стѣнки не превосходитъ 5—6 сант.), наибольшее сжатіе струи происходитъ на разстояніи e отъ отверстія, равномъ половинѣ его діаметра d (фиг. 133); діаметръ же δ сжатой струи составляетъ 0,8 діаметра отверстія; слѣдовательно:

$$\alpha = \frac{F'}{F} = (0,8)^2 = 0,64$$

По опытамъ же *Полени*, сдѣланнымъ еще въ 1715 г., можно принять для коефф. расхода:

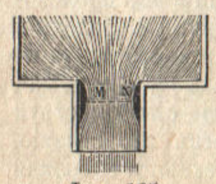
$$\mu = 0,62,$$

число, согласное съ позднѣйшими опытами. По этимъ даннымъ коефф. скорости:

$$\varphi = \frac{\alpha}{\mu} = 0,97.$$

Слѣдовательно, *въ случаѣ отверстія въ тонкой стѣнкѣ* формула: $v = \sqrt{2gh}$ даетъ результаты, отличающіеся отъ истинныхъ только на 3%, формула же: $Q = f\sqrt{2gh}$ даетъ расходъ, отличающійся отъ дѣйствительнаго на 38%. Такимъ образомъ, погрѣшность въ этой послѣдней происходитъ почти исключительно отъ существованія сжатія.

Если отверстіе сдѣлано въ толстой стѣнкѣ, или если къ нему придѣлана *цилиндрическая* или *призматическая трубка* (фиг. 135), то въ этомъ случаѣ жидкость при входѣ въ трубку также сжимается, но затѣмъ (если длина трубки не менѣе 1,5 діаметра) струя снова пристаетъ къ стѣнкамъ и вытекаетъ полнымъ отверстіемъ, не подвергаясь вторичному сжатію. При этомъ $\alpha = 1$, но коефф. расхода $\mu = 0,815$; слѣд., уменьшеніе расхода происходитъ исключительно вслѣдствіе уменьшенія скорости, коефф. которой $\varphi = 0,815$. Такая значительная потеря скорости можетъ быть объяснена тѣмъ, что *воздухъ*, *заключенный въ сжатомъ сѣченіи MN*, *частію уносится жидкостью* и *разрѣжается*, *причемъ давленіе его уменьшается*. Вслѣдствіе этого наружное давленіе атмосферы задерживаетъ движеніе струи, заставляя жидкость заполнять всю трубку, причемъ и происходитъ уменьшеніе скорости.



Фиг. 135.

Коеффиціенты сжатія α и расхода μ зависятъ отъ *многихъ обстоятельствъ*, изъ которыхъ наибольшее значеніе имѣетъ *уголъ*, *на который приходится уклоняться частицамъ* отъ своего первоначальнаго направленія, чтобы попасть въ отверстіе, а также то обстоятельство, происходитъ-ли *полное* или *неполное* сжатіе.

Чѣмъ болѣе уклоняются частицы жидкости въ своемъ движеніи отъ первоначальнаго направленія, *тѣмъ болѣе сжатіе* и *тѣмъ менѣе расходъ*. Наибольшее уклоненіе имѣетъ мѣсто въ случаѣ прибавочной трубки, входящей *внутрь* сосуда (фиг. 136), такъ какъ нѣкоторыя частицы должны описывать уголъ 180°, чтобы попасть въ отверстіе. Этому случаю соотвѣтствуетъ наибольшее сжатіе и наименьшій расходъ, коефф. котораго, по опытамъ ит.

Фиг. 136.

уч. *Бидона*, произведеннымъ въ 1826—27 г., среднимъ числомъ равенъ $\mu=0{,}53$. Наименьшему сжатію соотвѣтствуетъ уголъ 0° (случай наружной добавочной трубки, фиг. 135). При углѣ отклоненія въ 90° происходитъ среднее сжатіе. Если этотъ уголъ острый, то сжатіе менѣе средняго, если тупой, то болѣе средняго.

Если отверстіе съ одной или нѣсколькихъ сторонъ ограничено другими стѣнками, идущими по направленію струи, или когда одна изъ сторонъ отверстія составляетъ продолженіе сосуда, такъ что частицы движутся параллельно этимъ стѣнкамъ, то сжатіе происходитъ только съ тѣхъ сторонъ струи, которыя не прилегаютъ къ стѣнкамъ сосуда. Такой случай носитъ названіе *неполнаго сжатія*. Какъ показали опыты, *неполное сжатіе сопровождается всегда увеличеніемъ расхода* на величину, пропорціональную отношенію *периметра* (n') *отверстія, по которому не присходитъ сжатія, къ полному его периметру*, именно $\mu' = \mu\left(1 + 0{,}152\ \frac{n'}{n}\right)$.

Если прибавочная трубка имѣетъ форму, близко подходящую къ той, какую имѣетъ сжатая струя, выходящая изъ отверстій въ тонкой стѣнкѣ (фиг. 137), то коеффиціентъ расхода μ равенъ не 0,815, а 0,98; поэтому необходимо, для увеличенія расхода, закруглять внутреннія края отверстій, сдѣланныхъ въ толстой стѣнкѣ.

Фиг. 137.

Примѣчаніе. При истеченіи газовъ происходитъ также сжатіе струи, но коефф. расхода въ случаѣ отверстія въ тонкой стѣнкѣ $\mu=0{,}65$, а въ случаѣ короткой цилиндрической трубочки $\mu=0{,}9$.

138. Истеченіе изъ отверстія, сдѣланнаго въ боковой стѣнкѣ сосуда. Хотя при истеченіи жидкости изъ отверстія, сдѣланнаго въ боковой стѣнкѣ сосуда, частицы жидкости, находясь на различныхъ глубинахъ, имѣютъ неодинаковыя скорости, однако, какъ показываютъ вычисленія и опытъ, если вертикальные размѣры отверстія, какую бы форму оно ни имѣло, не велики, сравнительно съ глубиною погруженія h его ц. тяжести подъ свободною поверхностью, то можно для опредѣленія расхода пользоваться формулою

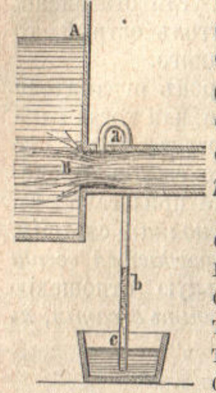
$$Q = \mu F\sqrt{2gh},$$

т. е. принимать, что *всѣ частицы движутся со среднею скоростью, равною скорости струйки, протекающей черезъ ц. тяжести отверстія.*

139. Истеченіе черезъ цилиндрическую насадку (фиг. 138). Если боковое отверстіе, сдѣланное въ тонкой стѣнкѣ, снабжено цилиндрической насадкою, то истеченіе можетъ происходить двоякимъ образомъ.

Если длина трубки не болѣе какъ въ $1\frac{1}{2}$ раза превосходитъ діаметръ ея, то струя *не будетъ совершенно касаться стѣнокъ*

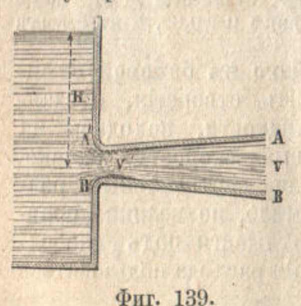
трубки, какъ бы ея совсѣмъ не было. Но если длина насадки по крайней мѣрѣ въ 3 раза болѣе діаметра, то при входѣ въ насадку струя претерпитъ сжатіе, но затѣмъ струя снова пристаетъ къ стѣнкамъ и вытекаетъ полнымъ отверстіемъ. Расходъ въ этомъ случаѣ опредѣлится (§ 137) по формулѣ: $Q=0,815\,F\sqrt{2gh}$; между тѣмъ, если бы не было насадки, то формула расхода была бы: $Q=0,62\,F\sqrt{2gh}$, откуда видно, что *цилиндрическая насадка увеличиваетъ расходъ*.



Фиг. 138.

Какъ было уже сказано выше (§ 137) сжатіе струи въ сѣченіи B сопровождается разрѣженіемъ воздуха въ этомъ мѣстѣ. Этотъ замѣчательный фактъ былъ подтвержденъ впервые въ 1799 г. опытами ит. уч. *Вентури*, который дѣлалъ въ стѣнкѣ трубки въ сжатомъ мѣстѣ отверстіе и соединялъ съ нимъ піезометрическую трубочку (§ 129), нижній конецъ которой погружалъ въ особый резервуаръ съ водою. Вслѣдствіе пониженія давленія въ сжатомъ сѣченіи вода всасывалась въ піезометръ на высоту, равную $^3/_4$ AB.

140. Истеченіе черезъ коническую расходящуюся насадку (фиг. 139). При истеченіи черезъ коническую расходящуюся насадку происходитъ *сжатіе струи* и *разрѣженіе воздуха* въ сжатомъ сѣченіи, какъ и при истеченіи черезъ цилиндрическую насадку, а вслѣдствіе уменьшенія давленія происходитъ *увеличеніе скорости* истеченія черезъ сжатое сѣченіе, а также и *расхода*.



Фиг. 139.

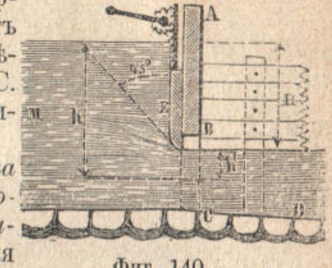
Какъ показали опыты *Вентури* (1798), *Эйтельвейна* (1801) и проф. горн. инст. *И. Тиме* (1876), *расходъ* и *степень разрѣженія увеличиваются съ увеличеніемъ отношенія* $\frac{D}{d}$ — діаметра широкаго основанія трубки къ діаметру отверстія — и *и съ увеличеніемъ напора H*, но до извѣстнаго предѣла, при которомъ еще струя *заполняетъ совершенно насадку*, что будетъ (при истеченіи въ воздухъ) если уголъ конусности $< 7^0$.

При опытахъ Эйтельвейна съ *коническою насадкою* оказалось, что, *при истеченіи въ воздухъ*, расходъ въ 1,5 раза больше, нежели безъ конической насадки черезъ то же отверстіе въ стѣнкѣ, а при опытахъ проф. И. Тиме съ коническою насадкою, *погруженною въ воду*, расходъ оказался въ 3 раза больше.

Коническія насадки получили въ послѣднее время большое практическое значеніе. Всасывающимъ дѣйствіемъ коническихъ наса-

докъ пользуются для разрѣженія воздуха въ сосудахъ *(водоструйный пневматическій насосъ Кертинга, эжекторы)*, для подъема жидкостей *(струйчатый насосъ Нагеля, инжекторы)*.

141. Истеченіе черезъ щитовое окно. Ко многимъ гидравлическимъ колесамъ вода подводится обыкновенно помощью горизонтальнаго или слегка наклоннаго русла CD (фиг. 140), дно котораго составляетъ продолженіе дна резервуара M. Изъ резервуара вода проходитъ черезъ отверстіе BC, назыв. *окномъ*, сдѣланное въ перегородкѣ (плотинѣ) ABC. Подвижный *щитъ* E служитъ для регулированія притока воды.



Фиг. 140.

Существованіе направляющаго русла дѣлаетъ разсматриваемый случай аналогичнымъ со случаемъ истеченія черезъ затопленное отверстіе (§ 133). Поэтому для каждой частицы воды мы можемъ примѣнить формулу: $v = \sqrt{2g(h - h')}$. Но разность $h - h'$ въ данномъ случаѣ есть величина постоянная, равная H—*разстоянію отъ верхняго уровня до нижняго края щита*, слѣд., всѣ частицы воды, сейчасъ по выходѣ изъ отверстія, движутся съ одинаковою скоростью $v = \sqrt{2gH}$, или

$$v = 0{,}97 \sqrt{2gH} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (39)$$

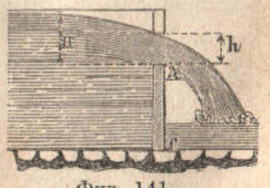
гдѣ 0,97 есть коеффиціентъ скорости.

Дѣйствительный расходъ опредѣлится изъ формулы;

$$Q = \mu F \sqrt{2gH}.$$

Величина коефф. расхода μ, какъ показали опыты Лебро́ и Понсле, произведенные въ 1827 г., измѣняется въ зависимости отъ напора H, высоты окна и угла наклоненія щита. При вертикальномъ щитѣ коефф. μ можетъ быть принятъ среднимъ числомъ равнымъ 0,62; а при углѣ наклона щита въ 45°, $\mu = 0{,}8$.

142. Истеченіе черезъ водосливъ. *Водосливомъ* наз. отверстіе AB (фиг. 141), сдѣланное въ верхней части стѣнки *(перемычки)* AC. Верхній край стѣнки A носитъ названіе *порога*. Истеченіе черезъ водосливъ представляетъ также одинъ изъ употребительныхъ способовъ подведенія воды къ гидравлическимъ пріемникамъ. При вытеканіи воды черезъ водосливное отверстіе, сдѣланное въ *тонкой* стѣнкѣ, обнаруживается также сжатіе струи, слѣдствіемъ котораго является пониженіе уровня воды надъ порогомъ.



Фиг. 141.

Самыя верхнія струйки воды, въ моментъ прохожденія ихъ надъ

порогомъ, находятся подъ напоромъ H—h, а самыя нижнія подъ напоромъ H. *Средняя скорость частицъ можетъ быть принята*, какъ показываетъ опытъ, *равною скорости струйки, протекающей черезъ центръ тяжести водосливнаго отверстія*, высотою h, а длиною l, т. е. $v = \sqrt{2g\left(H - \frac{h}{2}\right)}$, слѣдовательно:

$$Q = \mu l h \sqrt{2g\left(H - \frac{h}{2}\right)}.$$

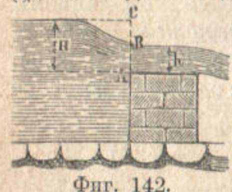
Но по опытамъ Бресса отношеніе $\frac{h}{H}$ можетъ быть принято равнымъ 0,86; поэтому

$$Q = 0{,}65\, \mu l H \sqrt{2gH}.$$

Принимая же среднее значеніе коефф. $\mu = 0{,}62$, получимъ:

$$Q = 0{,}403\, Hl \sqrt{2gH} \quad . \;.\; .\; .\; .\; . \quad (40)$$

143. Если водосливное отверстіе сдѣлано въ *толстой* стѣнкѣ (фиг. 142), то вода, проходя черезъ это отверстіе, движется какъ бы въ руслѣ, причемъ всѣ частицы описываютъ прямыя линіи, паралельныя дну русла. Вообразимъ надъ сѣченіемъ AB стѣнку BC; обстоятельства истеченія черезъ это не измѣнятся, но тогда мы будемъ имѣть случай истеченія черезъ окно, сопровождаемое горизонтальнымъ русломъ (§ 141). Какъ извѣстно, въ этомъ случаѣ скорость у всѣхъ струекъ будетъ одинакова, именно та же, что и у самой верхней струйки, т. е. $v = \sqrt{2g(H - h)}$ или $v = 0{,}97 \sqrt{2g(H - h)}$, а расходъ



Фиг. 142.

$$Q = \mu l h \sqrt{2g(H - h)}.$$

Для практическаго примѣненія этой формулы необходимо знать кромѣ коефф. расхода μ еще и отношеніе $\frac{h}{H}$. Наблюденіе показываетъ, что это отношеніе можетъ быть принято равнымъ $^2/_3$. Подставивъ въ послѣднее равенство вмѣсто h его величину и принявъ для μ значеніе близкое къ тому, какое соотвѣтствуетъ истеченію черезъ наружную трубку, т. е. близкое къ 0,816, напр., принимая $\mu = 0{,}8$, получимъ:

$$Q = 0{,}309\, lH \sqrt{2gH} \quad . \;.\; .\; .\; . \quad (41)$$

Фиг. 143.

144. Разсмотрѣнный случай истеченія черезъ водосливъ, въ которомъ порогъ лежитъ выше уровня воды въ отводномъ руслѣ, наз. *полнымъ* водосливомъ. Если порогъ лежитъ ниже уровня воды въ отводномъ руслѣ (фиг. 143) то водосливъ наз. *неполнымъ*. Непол-

ный водосливъ можно разсматривать какъ состоящій изъ двухъ частей: полнаго водослива BC и обыкновеннаго отверстія AB. Такимъ образомъ, расходъ черезъ неполный водосливъ будетъ равенъ суммѣ расходовъ черезъ эти два отверстія.

II. ДВИЖЕНІЕ ВОДЫ ВЪ ТРУБАХЪ.

145. Гидравлическія вредныя сопротивленія. До сихъ поръ мы разсматривали только такіе случаи истеченія, *когда гидравлическими сопротивленіями можно было пренебречь* безъ чувствительной погрѣшности. При движеніи воды по трубамъ или каналамъ безполезныя сопротивленія обнаруживаютъ чувствительное вліяніе на обстоятельства движенія воды. Сопротивленія эти происходятъ отъ двухъ причинъ: *тренія* (внутренняго и внѣшняго) воды и *ударовъ*, происходящихъ въ мѣстахъ внезапныхъ расширеній, съуженій или крутыхъ поворотовъ трубъ и руслъ.

146. Средняя скорость потока. Вслѣдствіе существованія тренія воды о стѣнки трубъ или о дно и берега рѣкъ и каналовъ, а также вслѣдствіе тренія и прилипанія отдѣльныхъ струекъ между собою, скорость различныхъ частицъ воды въ одномъ и томъ же поперечномъ сѣченіи не одинакова. Частицы воды, непосредственно соприкасающіяся со стѣнками трубы или съ дномъ русла, наиболѣе замедляются въ своемъ движеніи дѣйствіемъ гидравлическаго тренія о стѣнки и о дно; сосѣднія струйки замедляются первыми, дѣйствіемъ тренія и прилипанія между собою, и движутся уже съ большею скоростью и т. д.; сопротивленіе постепенно уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ стѣнокъ и береговъ, такъ что, напр., въ рѣкѣ наибольшею скоростью обладаютъ частицы, наиболѣе удаленныя отъ береговъ и отъ дна, т. е. лежащія на средней линіи теченія, или, точнѣе, нѣсколько ниже ея, по причинѣ сопротивленія воздуха. Въ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ вмѣсто дѣйствительнаго движенія, мы будемъ разсматривать *среднее движеніе*, т. е. будемъ предполагать, что скорость во всѣхъ точкахъ поперечнаго сѣченія одинакова, мѣняясь только при переходѣ отъ одного сѣченія къ другому, и при томъ равна той скорости, которую должны бы были имѣть всѣ струйки въ каждомъ изъ этихъ сѣченій для того, чтобы объемъ Q воды, протекающей въ секунду черезъ сѣченіе, остался тотъ же, что и въ дѣйствительности, когда скорости струекъ различны; такъ что, если назовемъ площадь сѣченія буквою F, то средняя скорость выразится:

$$c = \frac{Q}{F} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (42)$$

147. Потери напора на гидравлическія сопротивленія. По-

ложимъ, что имѣемъ резервуаръ A (фиг. 144), изъ котораго вода выливается по трубѣ BC при постоянномъ горизонтѣ. Пусть c будетъ средняя скорость истеченія, H—полный напоръ, A—площадь сѣченія трубы, d—діаметръ и L — длина ея. Такъ какъ въ этомъ случаѣ $p=p_0$, то если бы не было гидравлическихъ сопротивленій (внутренняго и внѣшняго тренія воды, ударовъ), то изъ ур. (33) получили бы для величины скорости c формулу Торричелли:

фиг. 144.

$$c = \sqrt{2gH}.$$

Въ дѣйствительности же скорость истеченія будетъ менѣе, ибо часть напора H (потенціальная энергія воды, соотвѣтствующая этой части напора) потеряется на эти гидравлическія сопротивленія.

Высоту z_1, затрачиваемую на *гидравлическое треніе*, принимаютъ: 1) *пропорціональною мокрому периметру* p, т. е. части периметра, ограничивающей трущуюся поверхность; 2) *пропорціональною длинѣ* L трубы; 3) *обратно-пропорціональною площади сѣченія* f *трубы* и 4) *пропорціональною квадрату средней скорости* c *движенія воды*. Такимъ образомъ:

$$z_1 = k. \frac{pL}{f} c^2 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (\alpha)$$

гдѣ коефф. пропорціональности k зависитъ отъ физическихъ свойствъ поверхности трубы и отъ рода матеріала, изъ котораго она сдѣлана, именно для деревянныхъ трубъ онъ больше, нежели для металлическихъ, для старыхъ чугунныхъ трубъ, стѣнки которыхъ покрылись ржавчиною и осадками, онъ гораздо больше, нежели для новыхъ. Для водопроводныхъ трубъ, по опытамъ фр. инж. Дарси, можно принимать, *если за ед. длины взять метръ*, $k = 0{,}000625$. Такимъ образомъ высота z_1 затрачиваемая на треніе воды въ чугунной трубѣ выразится (послѣ подстановокъ въ формулу (a) вмѣсто $f — \frac{\pi d^2}{4}$, $p—\pi d$, $k—0{,}000625$ и вставивъ $Q = \frac{\pi d^2}{4} c$):

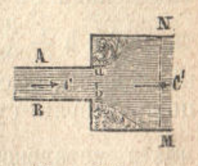
$$z_1 = \frac{LQ^2}{\gamma d^3} \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (43)$$

гдѣ $\gamma=(5\pi)^2$ м., т. е, около $16^2=256$ м.

148. Если поперечное сѣченіе трубы внезапно мѣняется, напр., если труба имѣетъ *расширеніе* или *съуженіе*, то въ этихъ случаяхъ проявляются особыя сопротивленія, поглощающія часть живой силы воды.

Положимъ, напр., что жидкость течетъ по трубѣ ABMN (фиг. 145), представляющей внезапный переходъ отъ сѣченія ab = f къ сѣченію MN=F. Въ такомъ случаѣ жидкость, переходя *изъ узкой*

части трубы въ широкую, не сейчасъ заполнитъ послѣднюю, но струя будетъ постепенно уширяться, пока параллельность движенія струекъ не установится въ нѣкоторомъ сѣченіи MN. При этомъ въ углахъ жидкость образуетъ *коловоротъ*. Если движеніе установившееся, то черезъ сѣченія f и F въ равныя времена протекаютъ равные объемы, т. е. $cf=c'F$, откуда $c'=c\frac{f}{F}$. Такъ какъ $f<F$, то $c'<c$. Такимъ образомъ, при переходѣ въ широкій сосудъ скорость должна *быстро уменьшиться*, а, слѣд., *должно проявиться сопротивленіе, тождественное съ ударомъ* и поглощающее часть живой силы жидкости, или, говоря иначе, дѣйствіемъ которой поглощается часть высоты напора. Чтобы найти эту высоту, замѣтимъ, что такъ какъ при переходѣ отъ сѣченія ab къ сѣченію MN скорость измѣняется только по величинѣ изъ c въ c', то разность $c-c'$ представитъ скорость, потерянную на ударъ; слѣд., высота, соотвѣтствующая этой скорости, будетъ: $z_2=\frac{(c-c')^2}{2g}$. Называя расходъ Q, будемъ имѣть; $Q=fc=Fc'$, откуда $c=\frac{Q}{f}$ и $c'=\frac{Q}{F}$. Вводя эти величины въ послѣднее ур., найдемъ:



Фиг. 145.

$$z_2=\frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1}{f}-\frac{1}{F}\right]^2 \qquad (44)$$

Въ случаѣ существованія внутри трубы *перегородки* (фиг. 146) съ отверстіемъ O (*клапанъ* или *кранъ*), происходитъ сжатіе струи и ударъ, какъ при переходѣ отъ узкаго сѣченія къ широкому. Въ этомъ случаѣ скорость прохожденія черезъ отверстіе будетъ равна $\frac{Q}{\mu f}$, гдѣ коефф. расхода μ будетъ имѣть значеніе, зависящее отъ расположенія отверстія и отъ того, въ тонкой или въ толстой стѣнкѣ сдѣлано это отверстіе (§ 137). Слѣдовательно, для высоты z_3, теряющейся въ разсматриваемомъ случаѣ, будемъ имѣть:

Фиг. 146.

$$z_3=\frac{Q^2}{2g}\left[\frac{1}{\mu f}-\frac{1}{F}\right]^2 \qquad (45)$$

Если вода переходитъ изъ *широкой части трубы въ узкую*, то въ этомъ случаѣ происходитъ *сжатіе* въ узкомъ отверстіи, а затѣмъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ, вода отъ узкаго сѣченія переходитъ къ широкому. Для этого случая надо только въ предыдущей формулѣ принять $F=f$.

Если труба имѣетъ *закругленіе* (или *колѣно*) (фиг. 147), то въ моментъ прохожденія жидкости черезъ него проявляется центробѣжное стремленіе, побуждающее частицы

Фиг. 147.

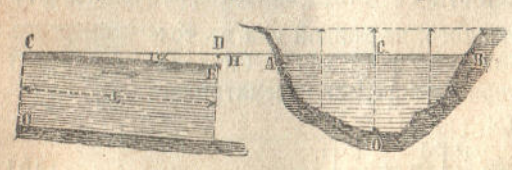
удаляться отъ внутренней стѣнки закругленія. Слѣдствіемъ этого является сжатіе струи, а потому и происходитъ явленіе, подобное тому, какое имѣетъ мѣсто въ случаѣ прохожденія жидкости изъ узкаго сосуда въ широкій. Потеря напора тѣмъ больше, чѣмъ больше длина дуги и чѣмъ меньше радіусъ закругленія. Въ случаѣ же *колѣна* потеря напора тѣмъ больше, чѣмъ больше *уголъ загиба трубы*.

149. Общій видъ уравненія Бернулли. По теоремѣ Бернулли, выведенной въ предположеніи отсутствія гидравлическихъ сопротивленій: $h + \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} = h' + \frac{p'}{\Delta} + \frac{v'^2}{2g}$. Но вслѣдствіе существованія вредныхъ сопротивленій и происходящихъ оттого потерь напора, вторая сумма будетъ меньше первой, т. е. будетъ имѣть мѣсто неравенство: $h + \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} > h' + \frac{p'}{\Delta} + \frac{v'^2}{2g}$, которое обратится въ равенство, если ко второй части его прибавимъ ту часть напора h'', которая теряется на гидравлическія сопротивленія, проявляющіяся при движеніи жидкости отъ одного сѣченія, въ которомъ скорость v, къ другому, гдѣ скорость v'. Послѣ этой поправки уравненіе Бернулли получитъ слѣдующій общій видъ:

$$h + \frac{p}{\Delta} + \frac{v^2}{2g} = h' + \frac{p'}{\Delta} + \frac{v'^2}{2g} + h'' \quad . \quad . \quad . (46)$$

III. ДВИЖЕНІЕ ВОДЫ ВЪ КАНАЛАХЪ И РѢКАХЪ.

150. Теоретическая формула средней скорости теченія. Пусть фиг. 148 представляетъ продольное и поперечное сѣченія рѣки. Часть AOB поперечнаго профиля, занятая водою, наз. *живымъ сѣченіемъ* рѣки; часть периметра живаго сѣченія, окаймляющаго дно и берега наз. *подводнымъ* или *мокрымъ* периметромъ, а линія AB носитъ названіе *воздушнаго* периметра. Вертикальное разстояніе $DE = h$ двухъ точекъ свободной поверхности, отстоящихъ одна отъ другой на длину L, наз. *паденіемъ* рѣки (или канала) на этой длинѣ.



Фиг. 148.

Предположимъ, что на извѣстномъ протяженіи L рѣки или канала *размѣры всѣхъ поперечныхъ сѣченій, равно какъ паденіе остаются постоянными, а направленіе прямолинейнымъ;* тогда *движеніе воды можно считать равномѣрнымъ* (§ 128).

Предполагая, что всѣ частицы движутся съ одинаковою скоростью, равною средней скорости c, можемъ примѣнить теорему D. Бернулли (§ 149) къ движенію частицы воды, лежащей на свободной поверхности, начиная отъ точки C до E; принявъ горизонтальную плоскость, проходящую черезъ E за плоскость, отъ которой будемъ считать высоты движущейся точки, получимъ:

$$\frac{p_0}{\Delta}+H+\frac{c^2}{2g}=\frac{p_0}{\Delta}+\frac{c^2}{2g}+z_1,\ \text{откуда}\ z_1=H,$$

т. е. *высота, теряющаяся на треніе равна паденію* H. Поэтому какъ и для случая движенія въ трубѣ, можетъ написать:

$$H=k.\frac{pL}{f}c^2,$$

гдѣ f есть площадь живаго сѣченія рѣки или канала, p — мокрый периметръ, L—длина разсматриваемой части рѣки. Отсюда:

$$c=\frac{1}{\sqrt{k}}\sqrt{\frac{f}{p}\cdot\frac{H}{L}}=k_1\sqrt{Ri}\quad . \ . \ . \ . \ . \quad (47)$$

гдѣ $R=\frac{f}{p}$ наз. *среднимъ радіусомъ* сѣченія, а $i=\frac{H}{L}$ — *паденіемъ на единицѣ длины.* Эта формула была дана фр. ут. *Чези.* Для коефф. k_1 *Эйтельвейнъ* нашелъ число 51, если за ед. длины принять метръ.

Умножая среднюю скорость c на площадь f, найдемъ расходъ воды черезъ живое сѣченіе:

$$Q=fc=51\sqrt{\frac{f^3}{p}i}\quad . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (48)$$

Для пользованія формулами (47) и (48) необходимо предварительно пронивеллировать поверхность воды на значительномъ протяженіи и вывести сколь возможно точнѣе величину $\frac{H}{L}=i$, а затѣмъ посредствомъ промѣровъ глубины въ различныхъ мѣстахъ живаго сѣченія опредѣлить (по формулѣ Симпсона) площадь f и периметръ p. Для этого надъ свободною поверхностью рѣки протягиваютъ отъ одного берега къ другому веревку, перпендикулярно къ направленію теченія (фиг. 148). Затѣмъ проѣзжаютъ вдоль этой веревки на лодкѣ и измѣряютъ посредствомъ отвѣса на равныхъ разстояніяхъ, напр., отъ метра къ метру, глубину. Такимъ образомъ опредѣляютъ абсциссы и ординаты ряда точекъ русла. Нанеся эти линіи въ извѣстномъ масштабѣ на бумагу, соединяютъ концы ординатъ кривою, которая представитъ контуръ сѣченія. Измѣривъ площадь этой кривой по способу Симпсона, получаютъ площадь живаго сѣченія f въ данномъ масштабѣ.

151. Формула (48) можетъ служить для рѣшенія слѣдующихъ важнѣйшихъ вопросовъ, относящихся *къ сооруженію канала*:

1) *По данному расходу и площади поперечнаго сѣченія опредѣлить паденіе на метръ длины, при условіи равномѣрности движенія воды.*

2) *По данному паденію и расходу опредѣлить сѣченіе канала.*

При рѣшеніи послѣдняго вопроса руководствуются тѣмъ соображеніемъ, чтобы придать подводному периметру такую форму, чтобы при данной площади f его и при данномъ паденіи H, скорость c была наиболь-

шая. Изъ ур. (48) видно, что c будетъ max., когда p min. Поэтому сѣченію канала должно придавать такую фигуру, чтобы периметръ ея былъ наименьшій, т. е. форму правильнаго многоугольника или окружности. Въ практикѣ для каналовъ, обдѣланныхъ камнемъ или деревомъ, примѣняется форма полуквадрата или полукруга; а для каналовъ, не имѣющихъ обдѣлки, форма трапеціи, величина откосовъ которой опредѣляется свойствами грунта.

Примѣчаніе. Что касается скорости воды у дна канала, то она должна быть на столько мала, чтобы вода не размывала дна и откосовъ (когда нѣтъ деревянной или каменной обдѣлки) и вмѣстѣ съ тѣмъ достаточна для того, чтобы вода могла унести теченіемъ заключающіяся въ ней примѣси (тина, песокъ), которыя при меньшей скорости осаждались бы на дно канала. Для тинистой воды эта скорость должна быть равна 0,15 м., а для воды съ примѣсью песку отъ 0,30 до 0,6 м.

152. Эмпирическія формулы средней скорости. На практикѣ средняя скорость теченія опредѣляется обыкновенно по эмпирическимъ формуламъ въ зависимости отъ наибольшей скорости воды на средней линіи свободной поверхности. Изъ этихъ формулъ наиболѣе отвѣчающіе дѣйствительности результаты даетъ формула *Прони:*

$$c = V \frac{2,372 + V}{3,153 + V} \text{ метр. . . . . (49)}$$

гдѣ c и V суть средняя и наибольшая скорости теченія. Въ случаяхъ, не требующихъ большой точности, пользуются болѣе простою формулою:

$$c = 0,8\,V \text{ . . . . . (50)}$$

153. Приборы, служащіе для опредѣленія наибольшей скорости теченія.

I. *Поплавки* [1]. Для опыта выбираютъ часть русла по возможности прямолинейную и съ постояннымъ сѣченіемъ, чтобы можно было считать движеніе равномѣрнымъ. Поплавокъ пускаютъ по серединѣ рѣки или канала, гдѣ скорость наибольшая. Передъ началомъ опыта, на обоихъ берегахъ верхняго сѣченія ставятъ по 2 вѣхи и такія же вѣхи ставятъ при нижнемъ сѣченіи. Одинъ наблюдатель замѣчаетъ точно моментъ, въ который поплавокъ проходитъ линію первыхъ вѣхъ, а другой замѣчаетъ моментъ, въ который поплавокъ, приходитъ на линію вторыхъ вѣхъ. Разность часовъ, соотвѣтствующихъ этимъ наблюденіямъ, представитъ время, употребленное поплавкомъ на прохожденіе разстоянія между данными сѣченіями. Раздѣливъ это разстояніе на время, получаютъ искомую скорость теченія. Чтобы показанія поплавка были по возможности ближе къ

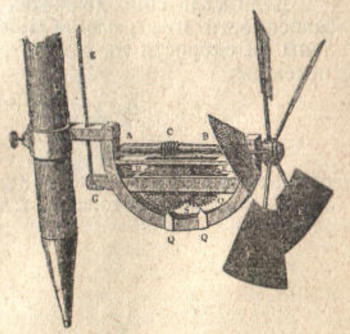
---

[1]) Поплавки дѣлаются *деревянные* или *металлическіе.* Первые имѣютъ обыкновенно форму диска, а вторымъ даютъ форму пустого шара, для того чтобы ихъ можно было наполнять водою; часто для поплавка употребляютъ пустую бутылку. Чтобы легче было слѣдить за поплавкомъ, его окрашиваютъ въ яркую краску—бѣлую или красную.

истиннымъ, необходимо, чтобы изъ воды выступала какъ можно меньшая часть поплавка, такъ какъ самый слабый вѣтеръ можетъ значительно вліять на его движеніе. Поплавокъ не долженъ также погружаться много подъ свободною поверхностью, такъ какъ въ этомъ случаѣ онъ укажетъ не скорость на поверхности, но нѣкоторую среднюю скорость многихъ струекъ потока. Для большей вѣроятности результата повторяютъ такой опытъ съ поплавкомъ нѣсколько разъ: средняя ариѳметическая изъ этихъ наблюденій представитъ наибольшую скорость на свободной поверхности.

Поплавки могутъ служить также для опредѣленія скорости воды *на нѣкоторой глубинѣ подъ свободною поверхностью;* для этого къ поплавку, плавающему на поверхности воды, привѣшиваютъ другой поплавокъ при помощи нити или проволоки такой длины, чтобы этотъ поплавокъ находился подъ водою на требуемой глубинѣ. Тогда оба поплавка будутъ двигаться со скоростью, среднею изъ наибольшей скорости V на поверхности рѣки и скорости v — искомой, существующей на глубинѣ второго поплавка; слѣд., будетъ имѣть: $c = \frac{V + v}{2}$, откуда $v = 2c - V$.

II. *Тахометръ Вольтмана.* Для болѣе точнаго опредѣленія скорости теченія служатъ особые приборы, извѣстные подъ общимъ названіемъ *тахометровъ.* Лучшій изъ тахометровъ есть такъ наз. *мельница* или *вертушка Вольтмана*, изобрѣтенная имъ въ 1790 г. Приборъ этотъ состоитъ изъ горизонтальной оси AB (фиг. 149), снабженной на одномъ изъ концовъ крыльями F,F.., наклоненными подъ нѣкоторымъ угломъ къ оси, на подобіе крыльевъ вѣтряныхъ мельницъ. Ось AB снабжена безконечнымъ винтомъ C, могущимъ сцѣпляться съ колесомъ O, установленнымъ въ рамкѣ GH. Въ положеніи, представленномъ на чертежѣ, колесо O не сцѣплено съ винтомъ C и удерживаются въ этомъ положеніи пружиною D. При помощи шнурка E можно приподнять рамку GH и произвести сцѣпленіе колеса съ винтомъ. Колеса O,O назначены для счета оборотовъ оси AB, для чего на нихъ дѣлаются дѣленія, соотвѣтствующія числамъ ихъ зубцевъ, а на дугѣ AQ, поддерживающей ось крыльевъ, устанавливаются указатели Q,Q. Дуга AQ помощью муфты K, снабженной нажимнымъ винтомъ m, можетъ быть прикрѣплена къ деревянному стержню D на требуемомъ разстояніи отъ его нижней оконечности, смотря по той глубинѣ, на которой требуется опредѣлить скорость потока.



Фиг. 149.

При началѣ опыта нули дѣленій счетныхъ колесъ устанавливаютъ противъ указателей QQ. Погрузивъ приборъ въ воду такъ, чтобы ось AB была направлена по теченію, сцѣпляютъ затѣмъ колесо O съ винтомъ C. При этомъ вращеніе винта, производимое давленіемъ воды на крылья, будетъ передаваться счетному прибору. По прошестви извѣстнаго промежутка времени, замѣчаемаго по часамъ, опускаютъ шнурокъ E, причемъ винтъ C разобщается съ колесомъ O. Затѣмъ вынимаютъ приборъ изъ воды и опредѣляютъ по указаніямъ счетнаго механизма число оборотовъ вертушки за время опыта; раздѣляя же число оборотовъ на время, получаютъ число оборотовъ оси AB въ единицу времени, напр., въ минуту. Для опредѣленія скорости по числу оборотовъ пользуются слѣдующею формулою:

$$c = 0{,}3595\,n + \sqrt{a + b n^2} \quad \ldots\ldots (51)$$

гдѣ a и b суть постоянныя количества, зависящія отъ размѣровъ вертушки; численныя величины ихъ опредѣляются для даннаго прибора помощью предварительныхъ опытовъ, погружая его въ воду, скорость которой извѣстна.

154. Давленіе жидкости на твердое тѣло. Если тѣло неподвижно, то давленіе на него жидкости будетъ, очевидно, зависѣть отъ величины *абсолютной* скорости ея частицъ и можетъ быть выражено тою же формулою, какъ и сопротивленіе жидкости:

$$P = \varphi' \frac{v^2}{2g} F\gamma \quad \ldots\ldots\ldots (52)$$

гдѣ v есть скорость частицъ жидкости, γ — плотность ея и F — проекція тѣла на плоскость, перпендикулярную къ направленію движенія.

Если тѣло само движется со скоростью c, то давленіе P выразится въ зависимости отъ *относительной* скорости $v \mp c$, смотря по тому, направлены ли скорости въ одну сторону или направленія скоростей противоположны:

$$P = \varphi' \frac{(v \mp c)^2}{2g} F\gamma \quad \ldots\ldots (53)$$

Что касается коефф. φ', то какъ показали опыты *Дюбуа* и *Тибо*, можно принять для тонкой пластинки $\varphi' = 1{,}86$; для куба $\varphi' = 1{,}46$, а для параллелепипеда, длина котораго въ три раза болѣе стороны основанія, $\varphi' = 1{,}34$.

ЗАДАЧИ.

65. Пользуясь формулою Торричелли, опредѣлить дѣйствительную скорость истеченія изъ отверстія, сдѣланнаго въ тонкомъ днѣ, зная, что напоръ $h = 5{,}2$ м.

66. Опредѣлить скорость истеченія черезъ затопленное отверстіе по даннымъ предыдущей задачи, если высота нижняго уровня надъ отверстіемъ $= 2{,}15$ м.

67. Вертикальный цилиндръ діаметромъ въ $2'$ наполненъ водою до $10'$ высоты; на свободную поверхность воды производится давленіе (при помощи

поршня), равное 1000 фунт. Съ какою скоростью вытекаетъ вода изъ отверстія, діам. 1 футъ, сдѣланнаго въ тонкомъ днѣ.

68. Найти скорость истеченія водяного пара подъ давленіемъ 5 атм. въ среду, гдѣ давленіе = 4,8 атм. Вѣсъ куб. метра пара упругости 5 атм. = 2,586 klg.

69. Какъ великъ долженъ быть діаметръ отверстія въ днѣ сосуда, въ которомъ вода стоитъ на 10′ надъ дномъ, если въ минуту должно вытекать 3 куб. ф.; коеф. расхода μ=0,62.

70. Какой напоръ необходимъ для того, чтобы изъ отверстія въ 0,3 кв. м. въ днѣ сосуда вытекало въ минуту 20 куб. м. воды, если поперечное сѣченіе сосуда равно 0,5 кв. м.

71. Вода вливается подъ постояннымъ напоромъ 1,6 м. въ холодильникъ паровой машины. Высота барометра 760 мм.; а высота манометра холодильника=183 мм. Съ какою скоростью вода вливается въ холодильникъ.

72. Какъ велика скорость, съ которою вода вливается въ паровой котелъ подъ напоромъ 5 м., если упругость пара въ котлѣ равна 1,25 атмосферы?

73. Въ тонкой боковой стѣнкѣ сосуда сдѣлано прямоугольное отверстіе шириною 0,16 м. и высотою 0,314 м. Разстояніе середины отверстія отъ постояннаго горизонта равно 2,8 м. Какъ великъ расходъ въ сек.?

74. Опредѣлить время, въ теченіе котораго горизонтъ воды въ призматическомъ сосудѣ (фиг. 133) опустится съ высоты h до высоты h_1, если прекратить притокъ воды въ сосудъ. Во сколько времени сосудъ опорожнится?

75. Какъ великъ долженъ быть напоръ надъ нижнимъ краемъ вертикальнаго щита, если окно имѣетъ ширину 4′, а щитъ поднятъ на высоту 5″ и если расходъ долженъ быть 12 куб. ф. (въ сек.).

76. На какую высоту долженъ быть поднятъ наклонный щитъ (45°), если напоръ H = 4,5′, ширина окна = 7,5′ и расходъ = 24 куб. ф.

77. Какъ великъ расходъ воды чрезъ водосливъ въ тонкой стѣнкѣ шириною 18′, если высота верхняго уровня надъ порогомъ равна 2′.

ГЛАВА VII.

Гидравлическія колеса.

Запасъ работы воды.—Цѣль устройства плотинъ.—Водоприводный каналъ.—Устройство каналовъ, плотинъ и щитовыхъ затворовъ.—Подраздѣленіе гидравлическихъ пріемниковъ.—Общее уравненіе передачи работы гидравлическими пріемниками.—Условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ.—Подраздѣленіе гидравлическихъ колесъ.—Верхненаливное колесо.—Полезная работа верхненаливнаго колеса.—Главнѣйшіе размѣры верхненаливнаго колеса.—Средненаливное колесо.—Боковое колесо.—Пошвенное колесо.—Полезная работа пошвеннаго колеса.—Главнѣйшіе размѣры пошвеннаго колеса.—Колесо Понсле.—Полезная работа колеса Понсле.—Главнѣйшіе размѣры колеса Понсле.—Висячее колесо.—Плавающее колесо Колладона.—Задачи.

155. Запасъ работы воды. Запасъ работы воды можетъ существовать или *въ видѣ кинетической энергіи*, когда вода находится въ движеніи, или *въ видѣ потенціальной энергіи*, когда вода собрана въ резервуарѣ, расположенномъ на нѣкоторой высотѣ. Этимъ

запасомъ работы пользуются для дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ, которые большую или меньшую часть его передаютъ въ видѣ *полезной работы* различнымъ исполнительнымъ механизмамъ, для движенія которыхъ пріемникъ поставленъ.

Хотя въ рѣкахъ и каналахъ средняя скорость теченія с вообще не велика, но *запасъ работы воды, равный* $\frac{\Delta Q}{2g}c^2$ (гдѣ Δ есть вѣсъ куб. ед. воды и Q — объемъ воды (расходъ), протекающій въ сек. черезъ живое сѣченіе), можетъ быть значителенъ, если великъ расходъ Q. На практикѣ невозможно воспользоваться всею этою живою силою, такъ какъ невозможно пріемнику придать такіе громадные размѣры, чтобы весь объемъ Q могъ на него дѣйствовать. При обыкновенныхъ размѣрахъ пріемниковъ, можно заставить дѣйствовать на нихъ только небольшой объемъ воды, а, слѣдовательно, если при этомъ и скорость теченія не велика, то и работа, принимаемая пріемникомъ, будетъ незначительна и, вообще говоря, недостаточна для движенія фабрики или завода.

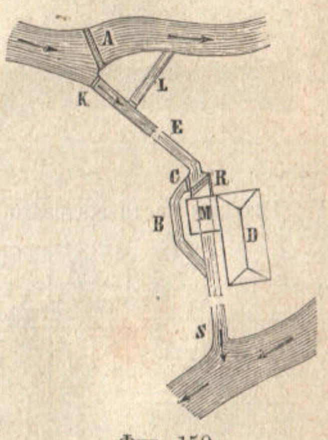
Если пріемникъ *дѣйствуетъ потенціальной энергіей воды*, собранной въ резервуарѣ, расположенномъ на нѣкоторой высотѣ, то запасъ работы будетъ равенъ работѣ вѣса воды, при ея переливаніи изъ верхняго резервуара въ нижній. При этомъ переливаніи вода производитъ давленіе на извѣстные органы пріемника и приводитъ его въ движеніе. Разность уровней въ верхнемъ и нижнемъ резервуарахъ носитъ названіе *напора*. Такимъ образомъ, если назовемъ расходъ, или объемъ воды, падающей въ секунду изъ верхняго резервуара на пріемникъ, буквою Q и буквою H напоръ, то запасъ работы воды будетъ ΔQH, или, означая буквою N число паровыхъ лошадей запаса работы, можемъ написать:

$$N = \frac{\Delta QH}{75}.$$

156. Цѣль устройства плотины. Въ природѣ весьма рѣдко встрѣчаются естественные напоры, достаточные для дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ. Обыкновенно приходится прибѣгать къ искусственному образованію напора. Для этого въ руслѣ воды строятъ поперечную *плотину*, дѣйствіемъ которой уровень воды передъ запрудою повышается и такимъ способомъ образуется со стороны притока резервуаръ воды съ поднятымъ уровнемъ, сравнительно съ уровнемъ воды, находящейся по другую сторону плотины—въ истокѣ. Но легко видѣть, что *плотина не создаетъ работы, какъ это можетъ казаться.* Задерживая движеніе воды, плотина только превращаетъ въ энергію потенціальную кинетическую энергію воды, которая при дальнѣйшемъ движеніи воды затратилась бы на преодолѣніе гидравлическихъ сопротивленій; слѣд., плотина не создаетъ работы, но сберегаетъ и накопляетъ ее. Чтобы выяснить пользу устройства плотинъ, разсмотримъ слѣдующій

примѣръ. Пусть средняя скорость теченія рѣки равна 0,98 метра; тогда запасъ работы, какимъ можно воспользоваться для техническихъ цѣлей, будетъ: $\frac{1000.Q(0,98)^2}{2.9,8} = 50\,Q$; между тѣмъ, если посредствомъ плотины образованъ напоръ, напр., въ 4 метра, то запасъ работы, при томъ же расходѣ, будетъ: $1000\,Q.4 = 4000\,Q$, т. е. въ 80 разъ больше.

157. Водоприводный каналъ. Обыкновенно гидравлическій пріемникъ устанавливаютъ не непосредственно въ рѣкѣ (напр. по причинѣ трудности устройства солиднаго фундамента, изъ желанія избѣжать затопленія фабрики въ половодье, или когда по мѣстнымъ условіямъ фабрика должна быть устроена вдали отъ рѣки), а въ особомъ *каналѣ* E (фиг. 150). Въ такомъ случаѣ кромѣ *машиннаго дома* M для гидравлическаго мотора и фабрики D необходимы слѣдующія *гидротехническія сооруженія*: 1) *плотина* или *запруда* A, устраиваемая поперегъ рѣки въ томъ мѣстѣ, гдѣ беретъ начало каналъ E, отводящій воду къ мотору, и имѣющая назначеніе образовать необходимый напоръ; 2) *водоприводный каналъ* E; 3) *водоотводный каналъ* S, отводящій отработавшую воду обратно въ рѣку; 4) *водоспускъ* B, снабженный *щитовымъ затворомъ* C и служащій для спуска воды изъ канала во время остановокъ мотора или въ случаѣ излишняго притока воды въ каналъ E; 5) *верхній водоспускъ* L, также снабженный щитовымъ затворомъ и служащій для предохраненія канала E отъ затопленія.



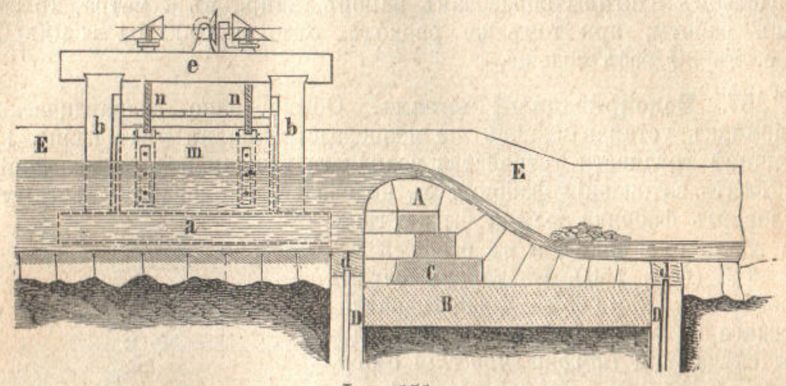
Фиг. 150.

Непосредственно передъ моторомъ устанавливается въ каналѣ E *рѣшотка R*, составленная изъ желѣзныхъ полосъ, укрѣпленныхъ наклонно ребромъ по теченію, и служащихъ для задерживанія постороннихъ плавающихъ тѣлъ—щепъ, листьевъ, бревенъ и т. п.

158. Устройство каналовъ, плотинъ и щитовыхъ затворовъ. Главныя части канала суть: дно, стѣнки, щитовые затворы и рѣшотка. Дно и стѣнки каналовъ дѣлаются *земляныя*, *каменныя*, *кирпичныя*, *деревянныя* или *чугунныя*. Послѣднія состоятъ изъ отдѣльныхъ частей, свинчиваемыхъ болтами. Боковыя стѣнки деревянныхъ каналовъ дѣлаются изъ бревенъ, а дно изъ досокъ. При очень большихъ напорахъ (какія обыкновенно встрѣчаются въ тюрбинахъ), затрудняющихъ устройство каналовъ, вода подводится къ мотору чугунною трубою.

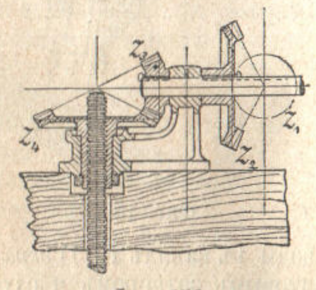
Устройство *плотинъ* весьма разнообразно. При *небольшихъ* напорахъ устраиваютъ *неполный водосливъ* (фиг. 143, а при большихъ—*полный водосливъ* (фиг. 141, 142 и 151). На фиг. 151 представленъ *каменный водосливъ* съ бе-

тоннымъ основаніемъ B, имѣющимъ цѣлью предупредить размывъ *подошвы* C плотины водою (поверхностною и грунтовою). Передъ плотиною и позади ея вбиты въ грунтъ *шпунтовые ряды* D и D_1 съ *насадками* d и d_1, служащіе опорою для *гребня* A. Береговыя стѣнки E служатъ для предупрежденія розлива воды.



Фиг. 151.

Главныя части щитоваго *затвора* составляютъ основной брусъ a, щитовая стойка b, b, стяжный брусъ c, и досчатый щитъ m, который поднимается при помощи двухъ винтовъ n, n и конической передачи, представленной отдѣльно на фиг. 152.



Фиг. 152.

159. Подраздѣленіе гидравлическихъ пріемниковъ. Гидравлическіе пріемники могутъ быть раздѣлены, по роду ихъ движенія, на два класса: на пріемники съ *круговымъ непрерывнымъ* движеніемъ и на пріемники съ *прямолинейнымъ качательнымъ* движеніемъ. Къ первымъ относятся: *гидравлическія колеса* и *тюрбины;* ко вторымъ—*водостолбовыя машины.*

Существенное отличіе колесъ отъ тюрбинъ заключается въ томъ, что *у первыхъ вода выходитъ изъ колеса, въ тѣхъ же самыхъ точкахъ,* въ которыхъ вступаетъ въ него, а *у вторыхъ — въ различныхъ.* Такъ, въ колесахъ вода вступаетъ и выходитъ всегда у ихъ внѣшней окружности; а въ тюрбинахъ вода вступаетъ у внутренней окружности, а выходитъ у внѣшней или обратно; или же вступаетъ у верхней части тюрбины, а выходитъ въ нижней. Колеса всегда имѣютъ горизонтальную ось, а тюрбины по большей части вертикальную, но иногда горизонтальную или наклонную.

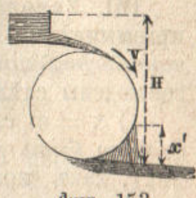
160. Общее уравненіе передачи работы гидравлическими пріемниками. Если обстоятельства движенія воды, вступающей на колесо и вытекающей изъ него, не измѣняются съ теченіемъ вре-

мени, то движеніе пріемника можно считать *равномѣрнымъ*, а слѣд., уравненіе передачи работы будетъ имѣть видъ (§ 6):

$$T_m = T_u + T_f,$$

гдѣ T_m есть запасъ работы двигателя, T_u—часть этой работы двигателя, преобразованная въ полезную работу пріемника, T_f—остальная часть энергіи двигателя, теряющаяся безполезно при переходѣ воды отъ верхняго резервуара къ нижнему.

Назовемъ буквою Q объемъ воды, притекающій въ секунду къ пріемнику, и H (фиг. 153) полный напоръ, который представитъ путь, проходимый водою по вертикальному направленію; тогда запасъ работы двигателя выразится: $T_m = \Delta QH$. Полезная же работа T_u равна работѣ того усилія P, какое нужно приложить къ окружности колеса, чтобы поддержать его равномѣрное движеніе, т. е. будетъ: $T_u = Pv$, гдѣ v есть скорость на окружности колеса.



Фиг. 153.

Найдемъ теперь выраженіе энергіи T_f, теряющейся безполезно. Потери энергіи происходятъ по причинѣ слѣдующихъ главнѣйшихъ обстоятельствъ: 1) *сопротивленія на пути воды отъ щитоваго отверстія до лопатокъ колеса* (сжатіе и треніе о дно и стѣнки русла, ведущаго воду отъ щитоваго отверстія къ колесу). Назовемъ буквою x высоту, теряющуюся на эти сопротивленія; тогда потеря энергіи выразится: ΔQx; 2) *удара воды о лопатку или о воду*, раньше вошедшую въ пріемникъ. Если назовемъ буквою u часть скорости воды, теряющуюся на ударъ во время вступленія ея въ пріемникъ, то $\frac{u^2}{2g}$ представитъ потерю напора, а $\frac{\Delta Qu^2}{2g}$ —потерю энергіи на ударъ; 3) *тренія воды о лопатки и тренія въ оси пріемника или порщней* (въ водостолбовыхъ машинахъ), *сопротивленія воздуха*. Назовемъ работу, теряющуюся на эти сопротивленія, буквою T_φ; 4) *потери живой силы, происходящей вслѣдствіе того, что вода выходитъ изъ пріемника съ нѣкоторою скоростью* w и, слѣд., уноситъ съ собою часть энергіи, равную $\frac{\Delta Qw^2}{2g}$, теряющуюся на ударъ при вступленіи воды въ нижній резервуаръ и на гидравлическія сопротивленія въ отводномъ руслѣ; 5) *потери нѣкоторой части напора* x', *происходящей вслѣдствіе того, что вода оставляетъ пріемникъ ранѣе*, нежели достигаетъ нижняго резервуара, не дойдя до послѣдняго на высоту x'; слѣд., часть запаса энергіи, равная $\Delta Qx'$, представляетъ безполезную потерю.

Такимъ образомъ, искомое ур. передачи работы гидравлическимъ пріемникомъ, представится въ слѣдующемъ видѣ:

$$\Delta QH = Pv + \Delta Qx + \frac{\Delta Qu^2}{2g} + T_\varphi + \frac{\Delta Qw^2}{2g} + \Delta Qx',$$

откуда

$$T_u = Pv = \Delta Q\left[H - x - \frac{u^2}{2g} - \frac{w^2}{2g} - x'\right] - T_\varphi.$$

При выводѣ этого ур. не было принято во вниманіе еще одно обстоятельство, уменьшающее полезную работу,—*безполезная потеря воды черезъ зазоры*, существующіе у нѣкоторыхъ пріемниковъ (гидравлическихъ колесъ) между дномъ и стѣнками русла, въ которомъ установленъ пріемникъ, и лопатками.

161. Условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ. Изслѣдованіе послѣдняго ур. показываетъ, что *для наивыгоднѣйшаго дѣйствія гидравлическаго пріемника* должны быть соблюдены слѣдующія условія:

1) $x = 0$: *сжатіе при проходѣ воды черезъ щитовое отверстіе должно быть какъ можно менѣе;* русло, ведущее воду къ пріемнику, какъ можно короче, безъ изгибовъ и съуженій или расширеній;

2) $u = 0$: *вода должна вступать въ пріемникъ безъ удара*, т. е. относительная скорость частицъ воды за мгновеніе до вступленія на лопатку должна быть равна по величинѣ и направленію относительной скорости частицъ воды, находящихся на лопаткѣ;

3) $w = 0$: *вода должна выходить изъ пріемника со скоростью, сколь возможно меньшею;*

4) $x' = 0$: *точка выхода воды изъ пріемника должна лежать какъ можно ближе къ уровню нижняго резервуара;*

5) *давленіе въ подшипникахъ или подпятникѣ должно быть какъ можно менѣе;*

6) *количество воды, безполезно протекающей черезъ зазоры, должно быть какъ можно менѣе;*

Въ практикѣ, для различныхъ пріемниковъ эти условія могутъ быть удовлетворены въ различной степени; поэтому величина полезной работы, которая можетъ быть представлена формулою:

$$T_u = \mu \Delta Q H \quad . \; . \; . \; (54)$$

(μ—коефф. полезнаго дѣйствія), при томъ же запасѣ работы, для различныхъ пріемниковъ выходитъ различная. Въ существующихъ гидравлическихъ пріемникахъ коефф. полезнаго дѣйствія μ колеблется въ предѣлахъ отъ 0,30 до 0,80.

162. Подраздѣленіе гидравлическихъ колесъ [1]. Существуетъ два главныхъ типа гидравлическихъ колесъ:

---

[1]) Изобрѣтеніе гидравлическихъ колесъ теряется въ глубокой древности. По свидѣтельству *Страбона* уже во время *Митридата Великаго* (137 — 64 до Р. Х.) существовала близъ его резиденціи мельница, которая приводилась въ движеніе водянымъ колесомъ, а по свидѣтельству знаменитаго въ свое время римск. архитектора *Витрувія* (въ соч. его De Architectura), современника *Августа*, въ царствованіе этого императора около Рима были въ дѣй-

1. *Наливныя колеса*, къ которымъ вода подводится сверху и дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ во все время, пока остается внутри колеса.

2. *Подливныя колеса*, къ которымъ вода подводится снизу и дѣйствуетъ своею живою силою, т. е. тѣмъ давленіемъ, которое обнаруживаетъ движущаяся вода на лопатки колеса, въ моментъ вступленія на послѣднія.

Наливныя колеса подраздѣляются: на *верхненаливныя, средненаливныя* и *полуналивныя* или *боковыя*. Въ первыхъ вода вступаетъ въ самой верхней части колеса, близъ вертикальнаго діаметра; во вторыхъ—въ средней части колеса, ближе къ горизонтальному діаметру. Въ боковыхъ колесахъ, занимающихъ среднее мѣсто между наливными и подливными, вода вступаетъ у горизонтальнаго діаметра.

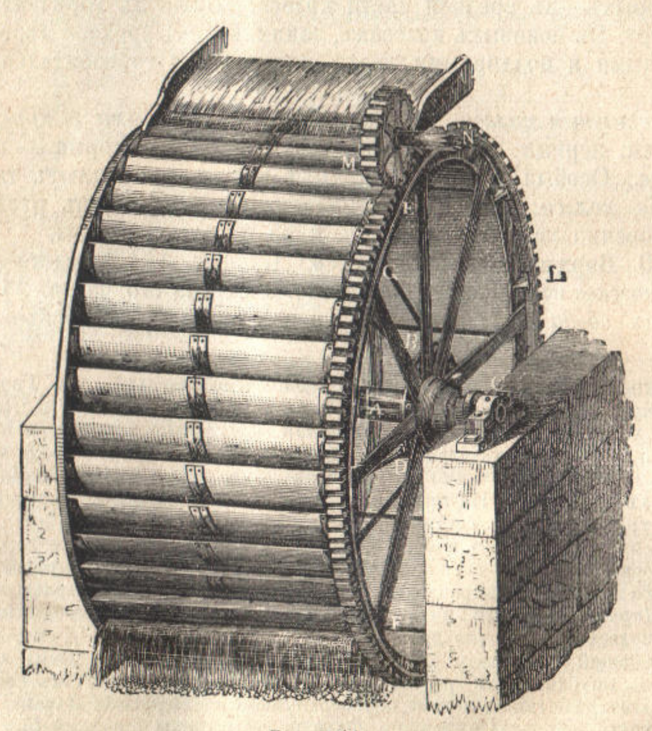
Подливныя колеса, устраиваются съ *прямыми* и *кривыми* лопатками; первыя наз. *пошвенными* колесами, вторыя — колесами *Понсле*. Особый видъ подливныхъ колесъ составляютъ такъ наз. *висячія колеса*, которыя устанавливаются прямо въ руслѣ рѣки, обыкновенно на двухъ баркахъ и не имѣютъ плогины.

163. Верхненаливное колесо. На фиг. 154 представлено *металлическое* верхненаливное колесо. Главныя его части: 1) *два чугунныхъ обода* E, составленныхъ изъ отдѣльныхъ косяковъ, свин-

---

ствія многія водяныя мельницы (*съ подливными колесами*). Въ Германіи гидравлическія колеса появились въ IV в., а во Франціи въ VI в. Первыя попытки установленія научныхъ основаній касательно устройства и дѣйствія водяныхъ колесъ относятся ко времени *Галилея* (1564—1642) и *Декарта* (1569—1650), одновременно съ изслѣдованіемъ законовъ движенія воды въ каналахъ и рѣкахъ. Но какъ и всѣ тогдашнія машины, водяныя колеса разсматривались въ состояніи покоя (статическаго равновѣсія), а потому самый важный вопросъ теоріи и практики гидравлическихъ моторовъ — объ *наивыгоднѣйшей скорости на окружности* — оставался незатронутымъ. Первая попытка въ этомъ направленіи (при томъ ошибочная) принадлежитъ франц. мат. *Парану*, который нашелъ въ 1707 г., что для наивыгоднѣйшаго дѣйствія колеса оно должно вращаться съ скоростью, равною $^1/_3$ скорости воды, притекающей къ колесу. Въ 1759 г. извѣстный въ свое время англ. инж. *Смитонъ* опубликовалъ результаты многочисленныхъ опытовъ своихъ надъ полезнымъ дѣйствіемъ колесъ, опровергнувшіе изслѣдованія Парана; въ 1777 г. результаты, добытые Смитономъ, были подтверждены опытами *Боссю*. Со времени Смитона началось сооруженіе *желѣзныхъ* колесъ, а въ 1813 г. появились средненаливныя и боковыя колеса. Наиболѣе полное развитіе теорія гидравлическихъ моторовъ получила благодаря трудамъ знаменитаго франц. уч. *Понсле* (1788—1867) (Poncelet, Jntroduction à la mécanique industrielle 1840 и «Cours de mécanique appliquée aux machines»). Усовершенствованіе подливныхъ колесъ, введеніемъ кривыхъ лопатокъ, было сдѣлано Понсле въ 1825, за что онъ получилъ отъ Парижской академіи наукъ *монтіоновскую премію*. Въ новѣйшее время наибольшія заслуги по теоріи гидравлическихъ колесъ оказали: *Ф. Редтенбахеръ* (1809—1863) (Theorie und Bau der Wasserräder, 1846) и *Ю. Вейсбахъ* (1806—1871) (Jngenieur-Mechanik, Bd. 2), которые придали этой теоріи современный видъ.

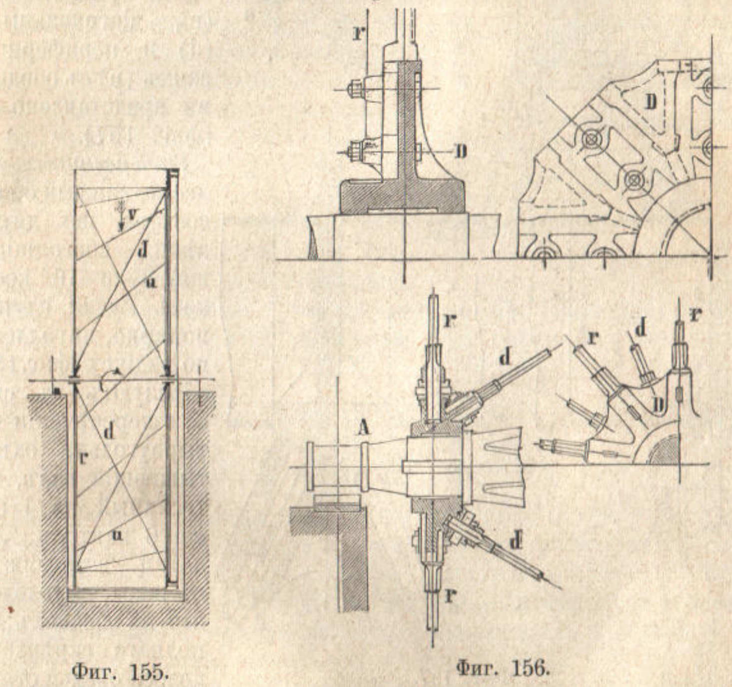
ченныхъ болтами; 2) *чугунный пустотѣлый валъ* A, установленный въ подшипникахъ C; 3) *чугунныя втулки* или *розетки* D (по одной для каждаго обода); 4) *желѣзныя радіальныя ручки* BE,DF... прямоугольнаго (или круглаго) сѣченія, скрѣпляющія розетки съ ободьями (при помощи болтовъ); 5) *діагональныя спицы* G, соединяющія правую розетку съ лѣвымъ ободомъ и лѣвую—съ правымъ; 6) *периферическія спицы* B,F..., соединяющія лѣвый ободъ съ правымъ; 7) *желѣзныя кривыя лопатки*, привинченныя къ особымъ приливамъ (фиг. 157), которыми снабжены ободья; и наконецъ, 8) *опалубка* или *кожухъ*, т. е. желѣзную внутреннюю обшивку, пред-



Фиг. 154.

ставляющую цилиндрическій барабанъ, прикрѣпленный изнутри колеса къ ободьямъ и имѣющій радіусъ, равный радіусу внутренней окружности колеса. Промежутки между лопатками, ободьями и кожухомъ образуютъ сосуды, наз. *ковшами*: ободья и лопатки образуютъ боковыя стѣнки, а кожухъ—дно. Для полнаго скрѣпленія ободьевъ употребляются *стяжные болты*, стягивающіе ободья и лопатки, а для устраненія прогиба лопатокъ, послѣднія скрѣпляются между собою *распорными болтами*. Въ очень широкихъ колесахъ

ставится *третій*, *средній ободъ*, для котораго на валу заклинивается особая розетка съ системою радіальныхъ ручекъ. *Система діагональныхъ* (d) и *периферическихъ* (u) ручекъ ставится только въ томъ случаѣ, если *зубчатый вѣнецъ* N *привинченъ къ ободу*, какъ на фиг. 155; назначеніе ихъ—предупредить перекашиваніе ободьевъ закручивающимъ дѣйствіемъ давленія въ зубцахъ. Если же *вѣнецъ укрѣпленъ къ радіальнымъ ручкамъ*, или вмѣсто вѣнца *посажено на валъ мотора зубчатое колесо*, то скрѣпленіе ободьевъ съ розетками производится только при помощи радіальныхъ спицъ, ибо въ этомъ случаѣ скручиванію будетъ подвергаться не ободъ, а валъ.

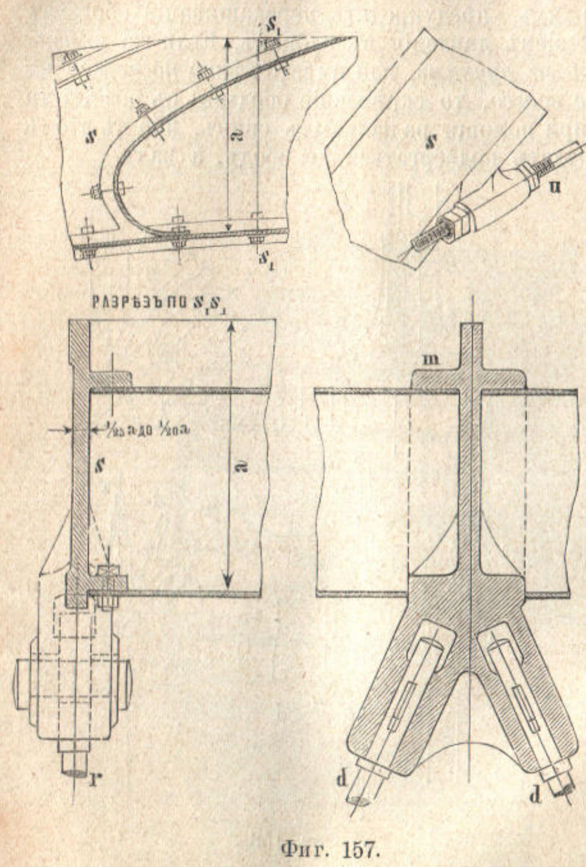


Фиг. 155. Фиг. 156.

Водоприводное русло или *ларь* помѣщается выше колеса. Въ передней стѣнкѣ ларя сдѣлано отверстіе, снабженное щитомъ и короткимъ, слегка наклоннымъ желобомъ, помощью котораго вода пускается на колесо такъ, что попадаетъ во второй или третій ковшъ, считая отъ вертикальнаго вверхъ идущаго радіуса. До вступленія на колесо вода проходитъ нѣкоторый путь по вертикальному направленію, пріобрѣтаетъ извѣстную скорость, которую затѣмъ *теряетъ на ударъ* при вступленіи въ ковши. Оставаясь же въ ковшахъ, *вода дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ*, понуждая колесо къ движенію, пока изъ него не выльется.

На фиг. 156 представлено детальное устройство *чугунной ро-*

зетки (D) съ *чугунными ручками*, заклиненной на *желѣзномъ валу* (верхній чертежъ), и *чугунной розетки* для *желѣзныхъ* радіальныхъ (r) и діагональныхъ (d) *спицъ*, заклиненной на *чугунномъ валу*. Детальное изображеніе скрѣпленій лопатокъ съ крайними ободьями s и среднимъ ободомъ m, а также скрѣпленіе спицъ радіальныхъ (r), діагональныхъ (d) и периферическихъ (u) съ ободьями представлено на (фиг. 157).

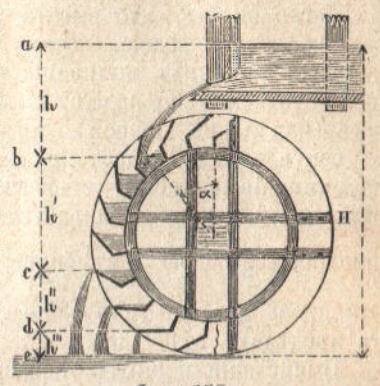


Фиг. 157.

Въ *деревянныхъ колесахъ* каждый ободъ составл. изъ двухъ вѣнц., состоящихъ изъ 8 до 16 косяковъ. Ручки, идущія попарно, параллельно радіусу (фиг. 158) образуютъ въ своемъ пересѣченіи четыреугольн, охватывающій валъ, обтесанный на 4 или на 6 кантовъ. Лопатки вставляются въ пазы, выдолбленные въ ободьяхъ; для полнаго скрѣпленія колеса ободья стягиваются болтами.

164. Полезная работа верхненаливнаго колеса. Полный напоръ H (фиг. 158) въ верхненаливномъ колесѣ можно раздѣлить на слѣдующія четыре части: 1) на часть ab = h отъ уровня воды въ ларѣ до точки вступленія воды въ колесо; 2) на часть bc = h′ отъ точки вступленія до начала вытеканія воды изъ ковшей; 3) на часть cd = h″ до совершеннаго опоражниванія ковшей и 4) на часть d e = h‴ отсюда до нижняго уровня. Для первой части напора (h) дѣйствіе воды заключается въ ударѣ и можно принять, что вода вливается въ колесо по направленію касательной къ наружной

окружности колеса [1]); тогда назвавъ буквою $c=\sqrt{2gh}$ скорость воды при вступленіи ея въ колесо и v — скорость на наружной окружности колеса, найдемъ скорость, теряющуюся на ударъ: $c - v$, и потерю энергіи двигателя: $\frac{\Delta Q}{2g}(c - v)^2$. Затѣмъ на высотѣ h' вода дѣйствуетъ своимъ вѣсомъ, и такъ какъ здѣсь не происходитъ никакой потери, то часть запаса работы, передаваемая водою колесу, будетъ: $\Delta Q h'$. На высотѣ h'' вѣсъ воды постепенно уменьшается: часть ея переливается черезъ края ковшей; по этому работа, переданная колесу, будетъ: $\xi \Delta Q h''$, гдѣ ξ есть правильная дробь. Далѣе, часть запаса работы воды, соотвѣтствующая высотѣ h''', совершенно теряется для дѣйствія колеса, ибо вода вся вылилась раньше. Наконецъ, принявъ, что скорость w, съ какою вода оставляетъ колесо, равна скорости v на его окружности (пренебрегая вліяніемъ центробѣжной силы), получимъ для полезной работы колеса выраженіе:



Фиг. 158.

$$T_u = \frac{\Delta Q}{2g} c^2 + \Delta Q h' + \xi \Delta Q h'' - \frac{\Delta Q}{2g}\left(c - v\right)^2 - \frac{\Delta Q}{2g} v^2 =$$

$$= \Delta Q \left\{h' + \xi h''\right\} + \frac{\Delta Q}{2g}\left\{v(c - v)\right\}.$$

Изъ этого выраженія видно, что при $v=c$ и при $v=o$ послѣдній членъ правой части равенъ нулю, слѣд., между этими крайними предѣлами должно быть значеніе скорости, при которомъ полезная работа T_u будетъ наибольшая. Эта величина скорости колеса и будетъ *наивыгоднѣйшею скоростью пріемника*, о которой было сказано въ § 7. Она опредѣляется изъ условія, что для T_u *max.* произведеніе $v\,(c - v)$ должно быть также *max.*, что будетъ при $v=0{,}5$ c., т. е. когда скорость на внѣшней окружности колеса будетъ равна половинѣ скорости воды. Подставивъ это значеніе v въ послѣднее выраженіе, получимъ:

$$T_u max = 0{,}5\, \Delta Q \frac{c^2}{2g} + \Delta Q\left\{h' + \xi h''\right\} = \Delta Q\left\{0{,}5h + h' + \xi h''\right\},$$ или,

такъ какъ $H = h + h' + h'' + h'''$,

$$T_u\, max = \Delta Q\left\{H - 0{,}5h - (1 - \xi)\, h'' - h'''\right\}.$$

[1]) Въ дѣйствительности уголъ, образуемый направленіемъ скорости c съ касательною къ окружности колеса, составляетъ около 13°.

Въ этой формулѣ $(1-\xi)\,h''+h'''$ есть та часть напора, которая теряется вслѣдствіе преждевременнаго выливанія воды изъ ковшей. Обозначивъ ее буквою z, получимъ:

$$T_u max. = \Delta Q \left\{H - 0{,}5\ h - z\right\}.$$

Легко видѣть, что высота z тѣмъ болѣе, чѣмъ полнѣе наливаются ковши водою, потому что тѣмъ ранѣе въ этомъ случаѣ начнется изъ нихъ выливаніе воды. Пусть a будетъ глубина ковшей, считаемая по радіусу (a есть ширина обода), а L ширина колеса (или длина ковшей), тогда объемъ, подставляемый колесомъ въ секунду подъ желобъ русла будетъ равенъ aLv (не принимая во вниманіе толщины стѣнокъ ковшей); а такъ какъ въ этотъ объемъ въ секунду вливается объемъ воды Q, то ковши будутъ наполняться водою тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе будетъ дробь: $\frac{Q}{aLv}=n$.

Эта дробь наз. *коеффиціентомъ наполненія колеса* и заключается въ предѣлахъ отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{5}$.

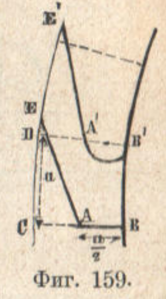
Вычисленія и опытъ показываютъ, что высота z, теряющаяся отъ преждевременнаго вытеканія воды изъ ковшей, можетъ быть представлена формулою: $z=\left(\frac{1}{25}+\frac{n}{4}\right)D$, или, такъ какъ въ верхненаливныхъ колесахъ D близко по величинѣ къ H: $z=\left(\frac{1}{25}+\frac{n}{4}\right)H$. Напр., если коефф. наполненія n равенъ $\frac{1}{5}$, а $h=0{,}12H$, то $T_u max=0{,}85\ \Delta QH$, т. е. колесо преобразуетъ въ полезную работу 85% запаса работы воды. Въ дѣйствительности коефф. полезнаго дѣйствія колеса измѣняется отъ 0,65 (для напоровъ $H<5$ м.) до 0,75 (при $H>5$ м.), слѣдовательно:

$$\left.\begin{array}{l} T_u=0{,}65\Delta QH \text{ к. м., или } N=\frac{0{,}65\Delta QH}{75} \text{ п. л. (при } H<5 \text{ м.)} \\ T_u=0{,}75\Delta QH \text{ к. м., или } N=\frac{0{,}75\Delta QH}{75} \text{ п. л. (при } H>5 \text{ м.)} \end{array}\right\} \quad . \ . \ (55)$$

На уменьшеніе полезной работы колеса, кромѣ гидравлическихъ сопротивленій при движеніи воды изъ ларя по желобу и тренія въ цапфахъ колеса, имѣетъ вліяніе центробѣжная сила воды, способствующая раннему выливанію ея изъ ковшей.

165. Главнѣйшіе размѣры верхненаливнаго колеса. Прежде всего опредѣляютъ *расходъ* Q, потребный для движенія колеса, данной силы N пар. лош., при данномъ напорѣ H, по формулѣ: $Q=\frac{75}{0{,}65\Delta}\,\frac{N}{H}=0{,}1155\,\frac{N}{H}$ (для $H<5$ м.), такъ какъ вѣсъ куб. метра воды равенъ $\Delta=1000$ kg. и $Q=0{,}094\,\frac{N}{H}$ (для $H>5$ м.). Для опредѣленія радіуса колеса предположимъ, что колесо касается уровня воды въ отводномъ руслѣ; тогда изъ чертежа получимъ: $H=R+R\,Cos\alpha+h$, гдѣ α есть вертикальный уголъ, соотвѣтствую-

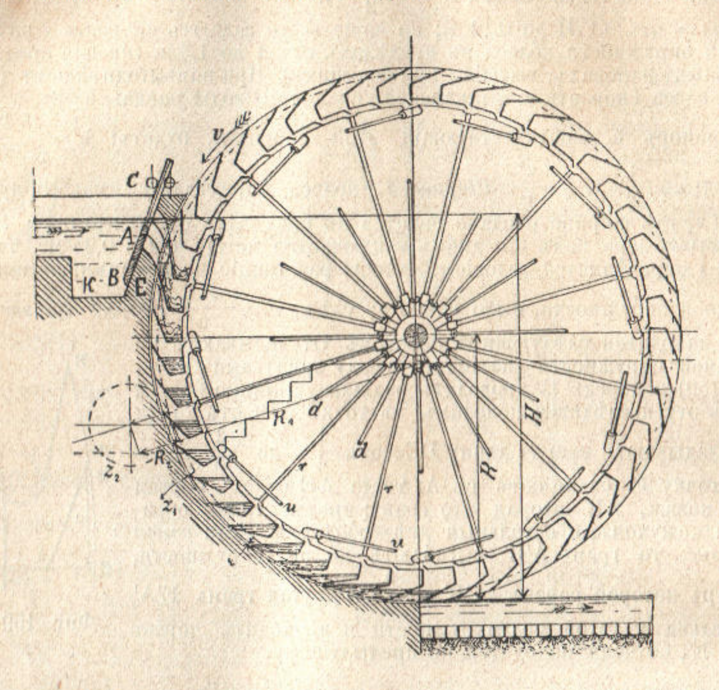
щій точкѣ вступленія воды въ колесо; но какъ уголъ α вообще весьма малъ, то можно принять $Cos\alpha = 1$ и $R = \frac{1}{2}$ $(H-h)$. *Высота h* выбирается въ предѣлахъ отъ 0,1 H до 0,12 H; но чаще всего задаютъ скорость v на наружной окружности колеса въ предѣлахъ отъ 1 до 1,5 м. (низшій предѣлъ при малыхъ напорахъ, высшій – при большихъ). При наивыгоднѣйшемъ дѣйствіи колеса скорость c вступающей на колесо воды равна: $c=2v$, а потому напоръ h, соотвѣтствующій этой скорости, будетъ: $h = \frac{4v^2}{2g}$, слѣд., $R = \frac{1}{2}$ $H - \frac{v^2}{g}$. *Ширина L* колеса опредѣляется изъ формулы: $Q=naLv$, гдѣ ширина обода *a* берется въ предѣлахъ отъ 0,2 до 0,4 м. *Уровень воды въ ларѣ* надъ его дномъ заключается между 0,2 и 0,25 м. *Число ковшей* i опредѣляется условіемъ, чтобы разстояніе между ними, считая по наружной окружности, было равно a; слѣд., $i = \frac{2\pi R}{a}$. *Форма деревянныхъ ковшей* находится слѣдующимъ образомъ. Откладываютъ по наружной окружности разстояніе между лопатками $CD=a$ (фиг. 159) и черезъ C проводятъ радіальную линію $CB=a$; дѣлятъ эту послѣднюю пополамъ въ точкѣ A и отъ точки D откладываютъ вверхъ длину $DE=$отъ $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{5}$ a; затѣмъ точку E соединяютъ съ A; тогда AE будетъ первая грань ковша, AB—вторая его грань; третья грань образуется кожухомъ, а остальныя двѣ—ободьями. Если *ковши желѣзные*, то грань A'B' выгибаютъ по полуокружности, діаметръ которой равенъ $A'B' = \frac{a}{2}$, а другая грань E'A' касательна къ этой полуокружности и проходитъ черезъ точку E', которая находится по предыдущему.



Фиг. 159.

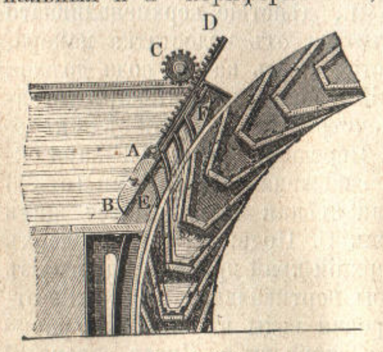
166. Средненаливное колесо (фиг. 160). Главныя части этихъ колесъ тѣ же, что и у верхненаливныхъ. Они устанавливаются (вмѣсто верхненаливныхъ) въ тѣхъ случаяхъ, когда положеніе уровня воды въ ларѣ значительно измѣняется; напр., при пониженіи его на величину близкую къ 0,20—0,25 м., дѣйствіе верхненаливнаго колеса можетъ совершенно прекратиться отъ недостатка напора, необходимаго для образованія скорости c, съ какою вода должна вступать въ колесо. Вліяніе колебаній уровня воды въ ларѣ устраняется въ средненаливныхъ колесахъ устройствомъ щита съ *направляющими перегородками* (фиг. 161). Передняя стѣнка EF ларя окружаетъ колесо концентрически и снабжена отверстіями (отъ 3 до 5). По внутренней плоской грани стѣнки EF движется щитъ AB, при помощи рейки D и шестерни C. Подвигая щитъ вверхъ или внизъ, можно установить его верхній край противъ одного изъ отверстій перегородки EF, такъ чтобы вертикальное разстояніе открытаго отверстія перегородки отъ уровня воды въ бакѣ было равно тому напору h, какой соотвѣтствуетъ скорости c. Число отверстій въ направляющей перегородкѣ зависитъ отъ величины измѣненія уровня воды въ ларѣ. Вертикальное же разстояніе крайнихъ отвер-

стій должно равняться разности уровней воды въ ларѣ во время самой высокой и самой низкой воды.



Фиг. 160.

На фиг. 160 буквою r означены радіальныя спицы, d—діагональныя и u—периферическія; сложная система ручекъ необходима здѣсь для избѣжанія перекашиванія ободьевъ, такъ какъ зубчатый вѣнецъ z_1 укрѣпленъ къ ободу. Передаточная шестерня означена буквою z_2; наконецъ k представляетъ резервуаръ, устраиваемый передъ щитомъ для собиранія постороннихъ тяжелыхъ тѣлъ (гравія, щебня).

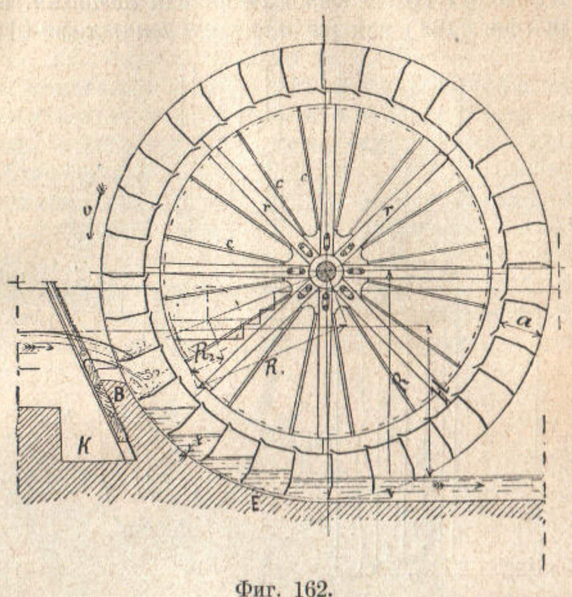


Фиг. 161.

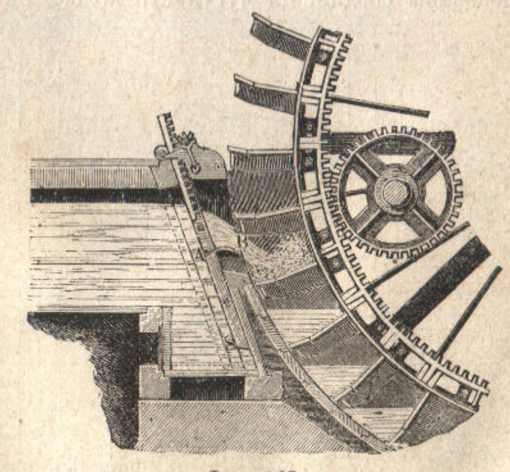
Какъ показываютъ опыты, *полезная работа средненаливнаго колеса* заключается между 65 и 70% запаса работы воды, т. е.:

$$T_n = 0{,}65\ \Delta QH \text{ до } 0{,}7\Delta QH \quad \ldots \quad (56).$$

167. Боковое колесо (фиг. 162). Боковое колесо устанавливается въ круговомъ концентрическомъ руслѣ BE, назначеніе котораго заключается въ уменьшеніи потери напора отъ преждевременнаго выливанія воды изъ колеса, а также въ уменьшеніи вреднаго вліянія центробѣжной силы, дѣйствіемъ которой вода могла бы разбрасываться изъ ковшей при значительной скорости колеса. Существованіе такого русла даетъ возможность увеличить *коэфф. наполненія* n *и скорость вращенія боковыхъ колесъ*, съ цѣлью *уменьшить ширину колеса* и упростить передачу. При устройствѣ круговаго русла должно быть обращено вниманіе на то, чтобы зазоръ между русломъ и колесомъ былъ достаточно малъ; въ противномъ случаѣ потеря воды черезъ него можетъ быть на столько велика, что полезное дѣйствіе русла почти совершенно уничтожится. При каменномъ руслѣ зазоръ этотъ дѣлается отъ 6 до 8 мм., а при деревянномъ (фиг. 163) отъ 1 до 1,5 сант. Въ резервуарѣ K скопляются постороннія тяжелыя тѣла.



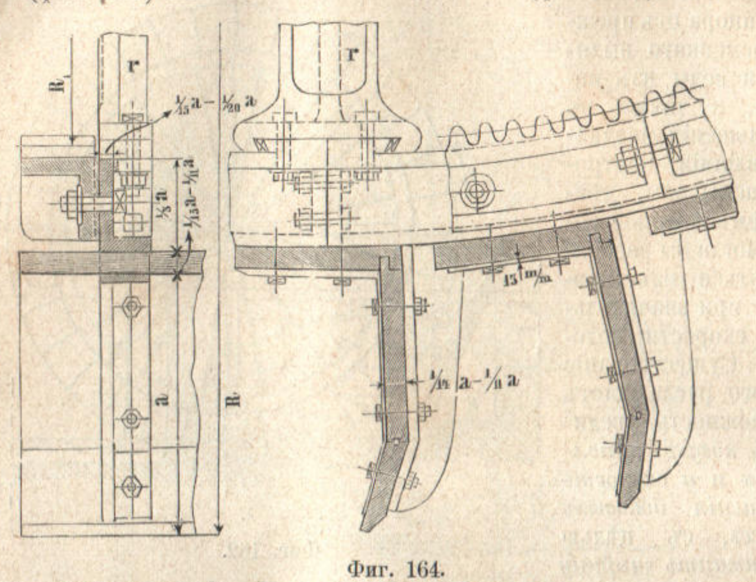
Фиг. 162.


Фиг. 163.

Какъ и въ верхненаливныхъ колесахъ, въ боковомъ колесѣ вода дѣйствуетъ ударомъ при вступленіи на колесо и затѣмъ своимъ

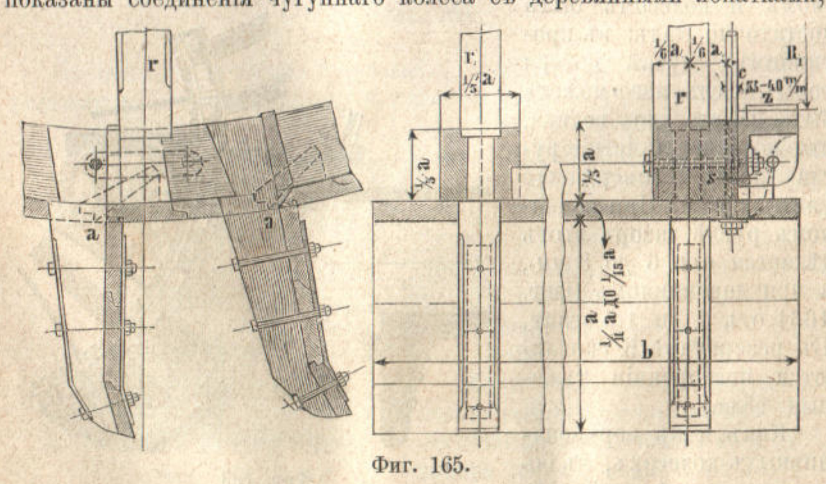
вѣсомъ. Впускъ воды производится всего чаще не черезъ щитовое окно, а *черезъ водосливъ*

Боковыя колеса снабжаются или *ковшами*, какъ и средненаливныя (фиг. 161) или же *плоскими лопатками* (фиг. 162) и подобно



Фиг. 164.

средненаливнымъ строятся изъ металла или дерева. На фиг. 164 показаны соединенія чугуннаго колеса съ деревянными лопатками,



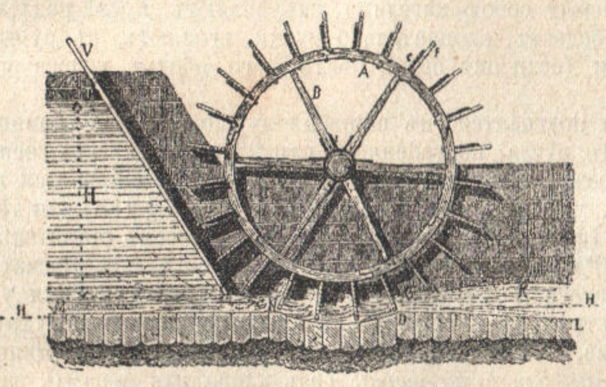
Фиг. 165.

а на фиг. 165—соединенія деревяннаго колеса. При *a* (фиг. 165)

въ кожухѣ устроены вентиляціонныя окошки—для свободнаго выхода воздуха.

Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія боковыхъ колесъ *съ ковшами*, какъ показываютъ опыты, лежитъ въ предѣлахъ отъ 0,65 до 0,70, а боковыхъ колесъ *съ лопатками* отъ 0,60 до 0,65.

168. Пошвенное колесо (фиг. 166). Всѣ части этихъ простѣйшихъ колесъ дѣлаются всегда изъ дерева—наиболѣе дешеваго матеріала. Если ширина колеса менѣе 2 арш., при діаметрѣ до 6 арш., то оно имѣетъ одинъ *брусчатый* ободъ А (изъ ели, которая менѣе намокаетъ, нежели сосна), составленный изъ отдѣльныхъ косяковъ; послѣдніе соединяются между собою врубкою и болтами, При ширинѣ колеса болѣе 2 арш. дѣлаютъ *два обода*, построенныхъ каждый изъ двухъ рядовъ еловыхъ досокъ, распиленныхъ по шаблону и скрѣпленныхъ между собою сосновыми шипами, нагелями и клиньями. На ободѣ колеса размѣщены на равныхъ раз-



Фиг. 166.

стояніяхъ прямыя лопатки (*перья*) В,В. *Если ободъ брусчатый*, то послѣднія привинчиваются къ особымъ клинообразнымъ брускамъ (на подобіе фиг. 165), которые вставляются въ *проймы*, пробитыя въ ободѣ, и укрѣпляются чеками или клиньями. *Въ случаѣ двухъ досчатыхъ ободьевъ* перья загоняются въ пазы (*ручьи*), выдолбленные въ ободьяхъ, причемъ послѣдніе стягиваются желѣзными тягами. Что касается лопатокъ, то онѣ дѣлаются или *радіальныя* (фиг. 166) или закрѣпляются *подъ угломъ къ радіусу*, или составляются изъ *двухъ частей*, *каждая подъ угломъ къ радіусу*, или *одна* (*перо*) *по радіусу*, *а другая* (*подперокъ*), *подъ угломъ къ радіусу*. Послѣдняя конструкція признается лучшею.

Деревянный *валъ* О составляется обыкновенно изъ 4 *сосновыхъ бревенъ*, обтесанныхъ на *четыре канта* и связанныхъ желѣзными хомутами. На концахъ вала выдалбливаютъ гнѣзда для чугунныхъ цапфъ, снабженныхъ крестообразнымъ хвостомъ; заложивши цап-

фы въ соотвѣтственныя гнѣзда, нагоняютъ на концы вала желѣзные *бугеля* (хомуты), числомъ отъ 4—6, предварительно нѣсколько нагрѣтые. Цапфы лежатъ на чугунныхъ подшипникахъ (иногда подшипникомъ служитъ просто камень съ выемкою для помѣщенія цапфы), устанавливаемыхъ нерѣдко прямо на стѣну машиннаго дома (или такъ наз. *теплухи*) и снабженныхъ бронзовыми вкладышами

Ободья колеса соединяются съ валомъ при помощи *радіальныхъ спицъ* (фиг. 166), но чаще при помощи накрестъ пересѣкающихся сосновыхъ или еловыхъ *ручекъ* (фиг. 158), врубленныхъ одна въ другую (около вала) въ полъ-дерева и скрѣпленныхъ съ ободомъ (посредствомъ врубки же) по крайней мѣрѣ *двумя дюймовыми болтами*.

При сборкѣ колеса сначала валъ устанавливается на подшипникахъ (по ватерпасу), затѣмъ устанавливаютъ ручки, прикрѣпляютъ части обода къ ручкамъ болтами, соединяя ихъ въ тоже время между собою нагелями, закрѣпляютъ, послѣ надлежащей вывѣрки ободьевъ, окончательно ручки, вгоняютъ въ ручьи перья и подперки (если онѣ есть), послѣ чего ободья колеса стягиваютъ болтами.

Вода подводится къ пошвенному колесу при помощи прямоугольнаго русла, построеннаго изъ 2″ еловыхъ или сосновыхъ досокъ; полъ русла (слегка наклонный—на 4°) набивается на *насадки* (лежни), укрѣпленныя на сваяхъ (фиг. 151, § 158) или дѣлается каменный (фиг. 166). Въ руслѣ передъ колесомъ ставится наклонный (10°—20°) *щитовой затворъ* V, состоящій изъ досчатаго щита, движущагося между двумя наклонными стойками. Для уменьшенія сжатія струи къ нижней доскѣ щита прибиваютъ полукруглый брусокъ (наз. *плахою*). Поднятіе щита производится обыкновенно при помощи *цѣвочной шестерни* (изъ клена или березы), захватывающій за кулаки подъемныхъ ручекъ, къ которымъ прибивается щитъ. *Водоподводное русло начинается отъ плотины, въ которой устроенъ второй затворъ* (верхній), *и продолжается нѣсколько за колесо.* Для того, чтобы какъ можно меньше воды протекало безъ дѣйствія между колесомъ, стѣнками и дномъ русла оставляется самый незначительный зазоръ (около $\frac{1''}{2}$) необходимый для свободнаго движенія колеса. Въ колесахъ, хорошо устроенныхъ, часть дна русла лежащая подъ колесомъ, окружаетъ его концентрически на протяженіи, соотвѣтствующемъ тремъ или четыремъ лопаткамъ. Подобнымъ устройствомъ русла значительно *уменьшается потеря воды* черезъ нижній зазоръ.

169. Полезная работа пошвеннаго колеса. Для опредѣленія полезной работы пошвеннаго колеса воспользуемся общимъ ур. передачи, выведеннымъ въ § 160. Назовемъ буквою v скорость на окружности колеса и c—скорость притекающей къ нему воды, рав-

ную $\sqrt{2gH}$, гдѣ H есть вертикальное разстояніе отъ верхняго уровня до нижняго края щита (§ 141), а коефф. скорости принять $=1$.

Вода, вступивъ въ колесо, движется затѣмъ со скоростью v лопатокъ и. слѣд., въ моментъ выхода изъ колеса она обладаетъ скоростью w=v. Такъ какъ скорость c воды за мгновеніе до встрѣчи съ лопаткою превращается въ скорость v сейчасъ послѣ встрѣчи, при чемъ направленія этихъ скоростей можно считать совпадающими между собою, то разность c—v представитъ *потерю скорости на ударъ* въ моментъ встрѣчи воды съ лопаткою, слѣд., u=c—v. Такимъ образомъ, въ этомъ пріемникѣ не удовлетворены два главныя условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія: *вода вступаетъ въ него съ ударомъ и оставляетъ со скоростью, большею нуля.* По выходѣ изъ колеса, вода не проходитъ никакого пути по вертикальному направленію, чтобы попасть въ русло, слѣд., высота $x'=o$. Поэтому, не принимая во вниманіе гидравлическихъ сопротивленій при движеніи воды отъ щита къ колесу, а также тренія въ оси и потерь воды черезъ зазоры, будемъ имѣть:

$$T_u = \Delta Q \left[H - \frac{u^2}{2g} - \frac{w^2}{2g}\right] = \frac{\Delta Q}{2g}\left[c^2 - (c-v)^2 - v^2\right],$$

или:

$$T_u = \frac{\Delta Q}{g} v\ (c-v) \quad .\ .\ .\ .\ (a)$$

Изъ этой формулы видно, что наивыгоднѣйшее значеніе для скорости колеса есть: v=0,5c (§ 164), а потому:

$$T_u\ max. = 0{,}5\ \frac{\Delta Q}{2g}\ c^2,\ \text{или}\ T_u\ max. = 0{,}5\Delta QH \quad .\ .\ .\ (57)$$

Такимъ образомъ, при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ пошвенное колесо можетъ передать только половину запаса работы воды. Въ дѣйствительности же полезная работа, передаваемая валомъ колеса, *какъ показали опыты съ нажимомъ Прони*, не превосходитъ 30% [1]) запаса работы воды, т. е. $\mu = 0{,}30$, по причинѣ *гидравлическихъ сопротивленій*, встрѣчаемыхъ водою на пути къ колесу, *тренія въ цапфахъ* колеса, которыхъ мы не приняли во вниманіе при выводѣ формулы (57), а также вслѣдствіе того обстоятельства, что *часть воды проходитъ черезъ зазоръ* между колесомъ и русломъ, не производя дѣйствія на колесо.

И такъ, *полезная работа пошвеннаго колеса*

$$T_u = 0{,}3\Delta QH\ \text{п. ф., или}\ N = \frac{0{,}3\Delta QH}{15}\ \text{п. л.} \quad .\ .\ .\ .\ .\ .\ (58)$$

[1]) Въ колесахъ, снабженныхъ *круговымъ русломъ*, т. е. въ которыхъ отводное русло охватываетъ концентрически колесо на протяженіи 3—4 лопатокъ, коефф. полезнаго дѣйствія достигаетъ величины 0,35.

Опыты *Боссю* и *Смитона* показали, что при этомъ *наивыгоднѣйшая скорость колеса* равна не 0,5c, а измѣняется отъ 0,4 до 0,45c.

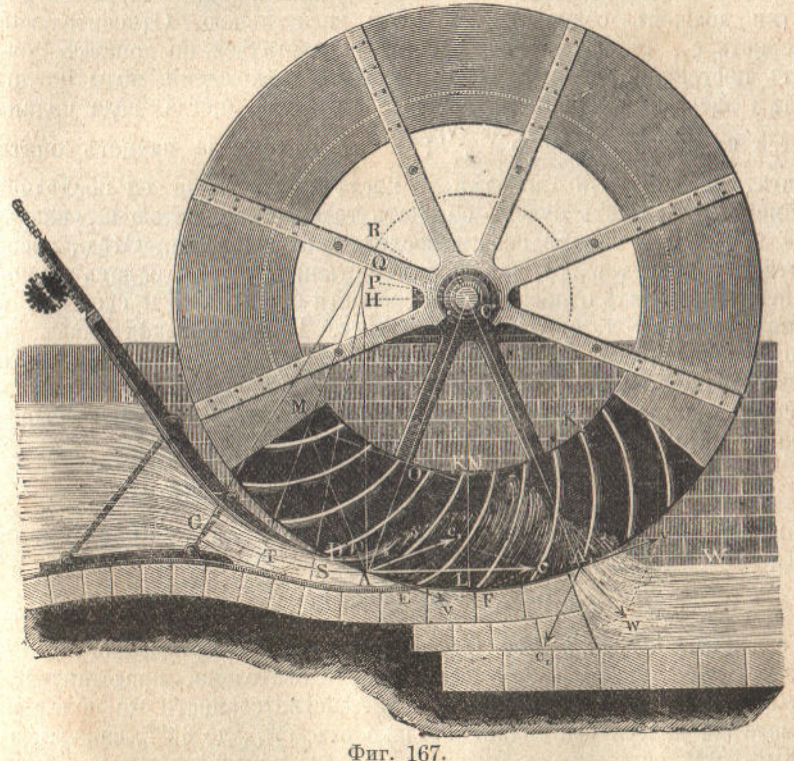
170. Главнѣйшіе размѣры пошвеннаго колеса. При построеніи колеса задается число лош. силъ N и напоръ H. По этимъ даннымъ опредѣляютъ *расходъ* Q по формулѣ (58), гдѣ вѣсъ куб. ф. воды $\Delta=1{,}7286$ пуд. Если существующій въ дѣйствительности расходъ меньше вычисленнаго, то устройство пошвеннаго колеса требуемой силы N невозможно. Зная Q, приступаютъ къ опредѣленію размѣровъ колеса. Если *толщина слоя притекающей воды будетъ* δ а *ширина русла* L, то формула $Q=0{,}7L\delta\sqrt{2gH}$ (§ 141) можетъ служить для опредѣленія L, а слѣд., и *длины лопатокъ*, принимая зазоръ въ $^1/_2''$ а $\delta=0{,}1H$. *Радіусъ колеса* опредѣлится изъ формулы $\frac{2\pi R.n}{60} = 0.4c$, если число оборотовъ n задано; если нѣтъ, то R берутъ произвольно, отъ H до 2.5 H, а изъ послѣдней формулы опредѣляютъ n, по которому разсчитываютъ передачу. Высота лопатокъ *a*, считаемая по радіусу, должна быть такова, чтобы вода не могла переливаться черезъ верхнюю грань ихъ, т. е. *a* должно быть больше толщины слоя δ_0 воды подъ колесомъ; обыкновенно *a* дѣлаютъ равнымъ $2\delta_0$. Что же касается δ_0, то $\delta_0 > \delta$, вслѣдствіе того, что скорость воды v между лопатками меньше скорости ея c до вступленія въ колесо ($v=0{,}4c$), и опредѣлится изъ равенства $cL\delta=vL\delta_0$. Наконецъ, *число* m лопатокъ опредѣлится по условію, чтобы разстояніе между ними было равно высотѣ ихъ *a*: $m=\frac{2\pi R}{a}$. Толщина вала дѣлается отъ 8 до 10 вершковъ. Остальные размѣры частей колеса опредѣляются по условіямъ прочности, слѣдуя правиламъ, излагаемымъ въ курсѣ построенія машинъ.

171. Колесо Понсле (фиг. 167). Пошвенное колесо было усовершенствовано въ 1825 г. фр. инж. Понсле, который показалъ, что устроивъ въ немъ вмѣсто прямыхъ кривыя лопатки, можно почти совершенно устранить ударъ воды при вступленіи въ колесо и значительно уменьшить скорость выхода воды изъ колеса.

Колеса Понсле строятся *деревянныя* или *металлическія*. И тѣ и другія имѣютъ два обода, которые въ *деревянныхъ колесахъ* строятся изъ досокъ, также какъ и лопатки; послѣднія укрѣпляются въ пазахъ, вырѣзанныхъ въ ободьяхъ. Деревянныя ручки соединяются съ ободьями врубкою и скрѣпляются болтами; соединеніе же спицъ съ валомъ достигается укрѣпленіемъ концовъ спицъ въ особыхъ гнѣздахъ, сдѣланныхъ въ валѣ. Въ *металлическихъ колесахъ* лопатки дѣлаются изъ тонкаго *листоваго желѣза* (отъ 4 до 6 мм. толщиною) и прикрѣпляются болтами къ особымъ приливамъ, находящимся на внутренней сторонѣ чугунныхъ ободьевъ. Спицы металлическаго колеса дѣлаются изъ круглаго желѣза и скрѣпляются съ ободьями посредствомъ болтовъ, а съ валомъ при помощи такъ наз. *розетки* (фиг. 156) или цилиндрической втулки, на боковой поверхности которой имѣются особыя гнѣзда, предназначенныя для принятія оконечностей ручекъ; въ этихъ гнѣздахъ ручки укрѣпляются посредствомъ клиньевъ или болтовъ.

Все сказанное относительно *потерь воды черезъ зазоры* и въ промежуткахъ между лопатками въ пошвенномъ колесѣ относится и къ колесу Понсле; поэтому для возможно болѣе выгоднаго дѣйствія этого колеса, нужно дѣлать зазоры сколь возможно меньше и нижайшую часть его окружать *концентрическимъ русломъ* на протяженіи, не меньшемъ двухъ промежутковъ между лопатками. Наконецъ, для вознагражденія неизбѣжной потери работы отъ тренія воды о дно подводящаго русла, ему даютъ уклонъ отъ $^1/_{10}$ до $^1/_{15}$; а для того, чтобы колесо не затоплялось (если по мѣстнымъ условіямъ подобное затопленіе возможно), при началѣ отводнаго русла дѣлаютъ порогъ около $^1/_2$ фута высоты и уширяютъ самое русло.

172. Полезная работа колеса Понсле. Пусть AK (фиг. 167)



Фиг. 167.

будетъ одна изъ кривыхъ лопатокъ колеса и α—уголъ, составляемый скоростью воды, за мгновеніе до вступленія на эту лопатку, съ касательною къ колесу. Разложимъ скорость c на двѣ составляющія: одну, равную v — скорости лопатокъ и направленную по касательной къ колесу, и другую c_1, величина и направленіе ко-

торой опредѣлятся изъ параллелограмма Ac_1cv. Первая составляющая представитъ *скорость переноснаго движенія* частицъ воды вмѣстѣ съ лопаткою, вторая—*относительную скорость* частицъ вдоль лопатки; величина ея будетъ равна:

$$c_1 = \sqrt{c^2 + v^2 - 2vcCos\alpha}.$$

Представимъ себѣ, что кривыя лопатки устроены такимъ образомъ, что первый элементъ ихъ совпадаетъ съ направленіемъ относительной скорости c_1; тогда ясно, что *вода вступитъ на лопатку безъ удара*, и, слѣд., $u = o$. Предположимъ теперь, что уголъ $\alpha = o$, т. е. что направленіе скорости c воды совпадаетъ съ касательной къ колесу; тогда относительная скорость $c_1 = c - v$ и будетъ направлена по касательной къ колесу. Слѣд., первый элементъ лопатки долженъ совпадать съ этою касательною. Относительная скорость c_1, съ какою вода начинаетъ двигаться по лопаткѣ, будетъ постепенно уменьшаться, по мѣрѣ восхожденія воды по лопаткѣ вверхъ, и наконецъ обратится въ нуль, когда вода поднимется на высоту, равную $\frac{(c-v)^2}{2g}$; послѣ этого вода начнетъ опять двигаться внизъ по лопаткѣ и когда придетъ на ея послѣдній элементъ, то опять будетъ обладать тою же скоростью c_1, какую она имѣла при началѣ своего восходящаго движенія. Слѣд., абсолютная скорость w, съ какою вода оставитъ колесо, будетъ равнодѣйствующею изъ относительной скорости $c_1 = c - v$ и скорости v самаго колеса, т. е. $w = c_1 - v = c - 2v$. Наконецъ, такъ какъ въ этомъ колесѣ, подобно тому какъ и въ пошвенномъ, $x' = o$, то для полезной работы колеса, не принимая во вниманіе гидравлическихъ сопротивленій въ подводномъ руслѣ, получимъ выраженіе (§ 160).

$$T_u = \frac{\Delta Q}{2g}\left\{c^2 - (c - 2v)^2\right\}, \text{ или } T_u = \frac{4\Delta Q}{2g}\, v(c - v).$$

Наибольшей величины эта работа достигаетъ при $v = 0{,}5c$ $(w = o)$, слѣд.:

$$T_u\, max = \Delta Q\,\frac{c^2}{2g} = \Delta QH \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (59)$$

т. е. *теоретически колесо Понсле способно преобразовать въ полезную работу всю энергію воды* и, слѣдовательно, представляетъ *вполнѣ совершенный пріемникъ.* Въ дѣйствительности же полезная работа T_u колеса составляетъ только отъ 55% до 65% запаса работы воды; при этомъ, какъ показали многочисленные опыты, *наивыгоднѣйшая скорость* колеса $v = 0{,}55c$. Потеря энергіи происходитъ, во-первыхъ, *вслѣдствіе ударовъ* между частицами воды, начинающими свое восходящее движеніе по лопаткѣ и частицами, раньше поднявшимися; во-вторыхъ, первые элементы лопатокъ не могутъ быть касательны къ внѣшней окружности колеса, какъ мы

допускали, ибо вода, которая, по предположенію, притекаетъ по касательной къ этой окружности, не могла бы войти въ лопатку, чему препятствовала бы предыдущая, такъ какъ первые элементы этихъ двухъ лопатокъ, образовали бы уголъ, почти равный нулю. На практикѣ уголъ α обыкновенно бываетъ отъ 15^0 до 20^0; а уголъ, образуемый первымъ элементомъ лопатки съ касательной, дѣлается отъ 26^0 до 27^0. Сверхъ того, потеря работы происходитъ *вслѣдствіе протеканія воды черезъ зазоры*, вслѣдствіе *тренія въ цапфахъ* колеса, а также по причинѣ существованія *гидравлическихъ сопротивленій* при движеніи воды *въ подводномъ руслѣ* и *по лопаткамъ*.

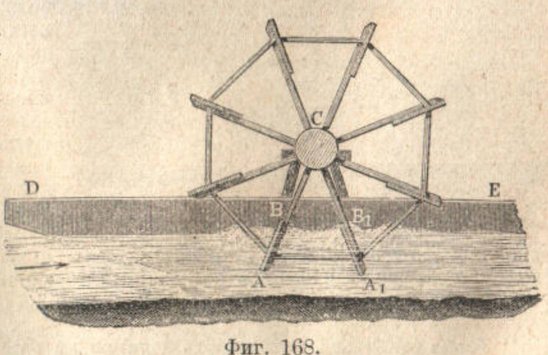
Взявъ среднее значеніе для коэффиціента полезнаго дѣйствія $\mu = 0{,}6$, получимъ:

$$T_u = 0{,}6\Delta QH \text{ п. ф., или } N = \frac{0{,}6\Delta QH}{15} \text{ пар. л. } \ldots\ldots (60)$$

т. е. *колесо Понсле работаетъ вдвое лучше пошвеннаго.*

173. Главнѣйшіе размѣры колеса Понсле. Радіусъ колеса опредѣляется по заданному числу оборотовъ его n (до 10 въ минуту) изъ формулы: $\frac{\pi Dn}{60} = v = 0{,}55c$. Если же n не задано, то радіусъ опредѣляютъ по формулѣ: $R = 1{,}75\ H$, причемъ R не долженъ быть больше 3,5 м. Ширина русла опредѣляется по формулѣ: $L = \frac{Q}{\delta c} = \frac{0{,}125N}{\delta cH}$ (но не болѣе 4 м.); толщина же δ слоя воды въ руслѣ опредѣляется по формулѣ: $\delta = 0{,}19H$. Что касается высоты a лопатокъ, то ее дѣлаютъ нѣсколько болѣе высоты $\frac{(c-v)^2}{2g}$, на которую поднимается вода по лопаткѣ; при $v = 0{,}5c$ эта высота равна $\frac{1}{4}\ \frac{c^2}{2g} = \frac{H}{4}$; поэтому высоту лопатокъ дѣлаютъ равною $\frac{H}{3}$. Лопаткамъ даютъ обыкновенно цилиндрическую форму. Центръ M направляющей окружности получится въ пересѣченіи перпендикуляровъ: MA — къ первому элементу лопатки (къ направленію относительной скорости c_1) и перпендикуляра MO — къ соотвѣтствующему радіусу AC. Число лопатокъ опредѣляется по формулѣ Редтенбахера: $m = \frac{2\pi R}{0{,}2 + 0{,}7a}$, гдѣ R и a выражены въ метрахъ.

174. Висячее колесо (фиг. 168). Висячее колесо отличается отъ пошвеннаго тѣмъ, что не имѣетъ русла, а ставится на двухъ баркахъ (DE), причемъ лопатки его погружаются прямо въ воду рѣки (или канала). Его устанавливаютъ въ тѣхъ случаяхъ, когда *нельзя устроить плотины* или *отводнаго канала*, и преимущественно для движенія *мельницъ*, которыя помѣщаются на тѣхъ же судахъ.



Фиг. 168.

Такъ какъ скорость теченія воды въ рѣкѣ не велика, то и работа висячаго колеса выходитъ гораздо меньше работы подливныхъ колесъ тѣхъ же размѣровъ. Поэтому висячія колеса ставятъ только въ рѣкахъ, скорость теченія которыхъ не менѣе 1.5 м. При устройствѣ колеса должно стараться, чтобы какъ можно менѣе работы терялось на вредныя сопротивленія, а для этого колеса эти дѣлаютъ по возможности легкими. Съ этою цѣлью, несмотря на значительный діаметръ колесъ (до 15 фут.), не дѣлаютъ болѣе 12 лопатокъ [1]) и не устраиваютъ обода, а лопатки прикрѣпляютъ прямо къ спицамъ (B,B). Лопатки дѣлаются очень длинныя (отъ 6 до 18 фут.) и широкія (отъ 1 до 2 ф.), для того чтобы онѣ могли принимать дѣйствіе большаго количества воды; а спицы, для предупрежденія прогиба, связываютъ желѣзнымъ обручемъ.

Полезная работа висячихъ колесъ можетъ быть вычислена по той же формулѣ, какъ и для подливныхъ колесъ:

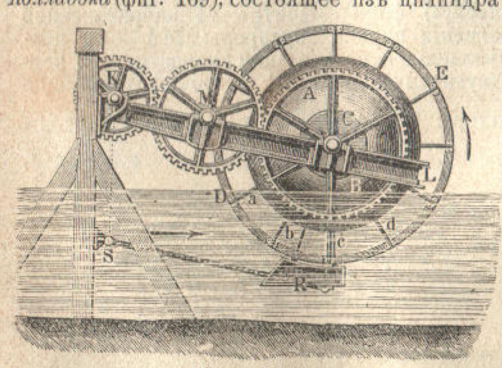
$$T_u = \frac{\Delta Q}{g} \, v \, (c - v). \; . \; . \; (a)$$

гдѣ Q есть объемъ воды, притекающій въ секунду къ колесу и дѣйствующій на лопатки. Онъ равенъ: $Q = Fc$, гдѣ F есть площадь погруженной части лопатки и c—скорость теченія. Теоретически наибольшая величина полезной работы висячаго колеса соотвѣтствуетъ $v = 0{,}5c$. Однако опыты *Боссю* показали, что въ дѣйствительности наибольшая работа колеса будетъ при $v = 0{,}4c$. Наконецъ, по наблюденіямъ *Понсле*, если вмѣсто c принять наибольшую скорость теченія (средней струйки на поверхности рѣки), то послѣднюю формулу должно исправить практическимъ коеффиціентомъ 0,8. Внося всѣ эти величины въ формулу (a), получимъ для наибольшей полезной работы висячаго колеса выраженіе:

$$T_u = 0{,}8. \; \frac{1000.Fc}{g}. \; 0{,}4c \, (c - 0{,}4c) \text{ или } T_u = 19{,}57Fc^3 \text{ к. м.} \; . \; . \; . \; (61)$$

Напримѣръ, при $F = 1{,}48$ кв. м. и $c = 2$ м., $T_u = 231{,}7$ к. м.

175. Къ числу висячихъ колесъ относится такъ наз. *плавающее колесо Колладона* (фиг. 169), состоящее изъ цилиндра C съ полусферическими днищами, склепаннаго изъ котельнаго желѣза и плавающаго на водѣ. Желѣзныя лопатки приклепываются прямо къ цилиндру, безъ помощи спицъ и стягиваются, для большей прочности, желѣзными обручами. Днища цилиндра снабжаются цапфами, на одной изъ которыхъ насажено зубчатое колесо, служащее для передачи движенія. Цапфы колеса устанавливаются въ подшипникахъ, укрѣплен. на двухъ рамахъ CK, вращающихся около оси K. При такомъ устройствѣ, колесо можетъ понижаться или повышаться, слѣдуя измѣненіямъ уровня въ рѣкѣ, безъ нарушенія передачи движенія отъ колеса приводному валу K, который устанавливается на сваяхъ или же на суднѣ.



Фиг. 169.

---

[1]) *Навье* совѣтуетъ располагать лопатки на разстояніи, равномъ ихъ высотѣ, и наклонять къ радіусамъ подъ угломъ отъ 15° до 30°.

ЗАДАЧИ.

78. Какъ велика полезная работа (въ паров. лош.) водяного колеса, если расходъ $Q=20$ куб. ф. и напоръ $H=5'$? Коэфф. полезнаго дѣйствія $\mu=0{,}60$.

79. Построить верхненаливное колесо въ 30 пар. лош. Дано: $H=10$ м., $v=1{,}2$ м., высота ковшей $a=0{,}3$ м., коэфф. наполненія $n=\frac{1}{4}$. Къ колесу прикрѣпленъ зубчатый вѣнецъ діаметромъ въ 4 м. Какой долженъ быть радіусъ шестерни, заклиненной на передаточномъ валу, чтобы этотъ послѣдній дѣлалъ 60 оборотовъ въ минуту?

80. Какой радіусъ должно имѣть пошвенное колеса, если число оборотовъ его въ минуту $n=8$, напоръ $H=4{,}8'$, коэфф. скорости $\alpha=0{,}97$ и наивыгоднѣйшая скорость на окружности колеса $v=0{,}4c$?

81. Построить пошвенное колесо въ 10 паров. лош. при напорѣ $H=1{,}5$ м. и расходѣ воды въ источникѣ, питающемъ верхній резервуаръ, въ 2,5 куб. м.

82. Построить колесо Понсле въ 18 пар. л. при напорѣ $H=1{,}2$ м. Число оборотовъ колеса въ минуту 8.

ГЛАВА VIII.

Тюрбины [1]).

Водостолбовыя машины.

Подраздѣленіе тюрбинъ.—Тюрбина Геншеля — Жонваля; условія ея наивыгоднѣйшаго дѣйствія и полезная работа. — Различіе реактивныхъ и активныхъ тюрбинъ.—Регулированіе тюрбины Жонваля и главнѣйшіе размѣры ея.—Тюрбина Фонтэна. — Полная осевая тюрбина Жирара; регулированіе ея, полезная работа и главнѣйшіе размѣры. — Тюрбина Фурнейрона; ея полезная работа и главнѣйшіе размѣры.—Полная радіальная тюрбина Жирара.—Партіальная тюрбина Жирара.—Тюрбина Цуппингера.—Выборъ гидравлическаго пріемника; сравненіе гидравлическихъ колесъ съ тюрбинами. — Водостолбовыя машины и ихъ полезная работа.—Машина Шмидта.—Аккумуляторъ Армстронга.—Задачи.

176. Подраздѣленіе тюрбинъ. Тюрбины раздѣляются на *полныя* и *партіальныя.* Въ первыхъ вода дѣйствуетъ одновременно на всѣ лопатки, у вторыхъ—только на нѣкоторыя изъ нихъ.

Какъ полныя, такъ и партіальныя тюрбины могутъ быть раздѣлены на *радіальныя* и *осевыя.* Въ первыхъ вода движется внутри тюрбинъ по направленіямъ ихъ радіусовъ, у вторыхъ—по направленію, параллельному оси. Радіальныя тюрбины устраиваются

---

[1]) Изобрѣтателемъ тюрбинъ считается фр. инж. *Бюрдэнъ*, который первый началъ ихъ строить (въ 1826 г.) и далъ самое названіе, но первая раціонально устроенная тюрбина (радіальная) была конструирована его ученикомъ *Фурнейреномъ* въ 1832 г. Испытана эта тюрбина была въ 1836 г. *Мореномъ*, а ея теорія была дана *Понсле* въ 1838 г. Съ этого времени тюрбины обратили на себя вниманіе всѣхъ техниковъ. Въ 1841 г. была построена одновременно *Геншелемъ* въ Касселѣ и *Жонвалемъ* въ Мюльгаузенѣ *осевая тюрбина*, которая впослѣдствіи (1844) была усовершенствована фр. механи-

или съ *внутреннимъ* или съ *внѣшнимъ* (американскія тюрбины) подводомъ воды; у первыхъ вода движется отъ центра къ окружности, у вторыхъ—наоборотъ.

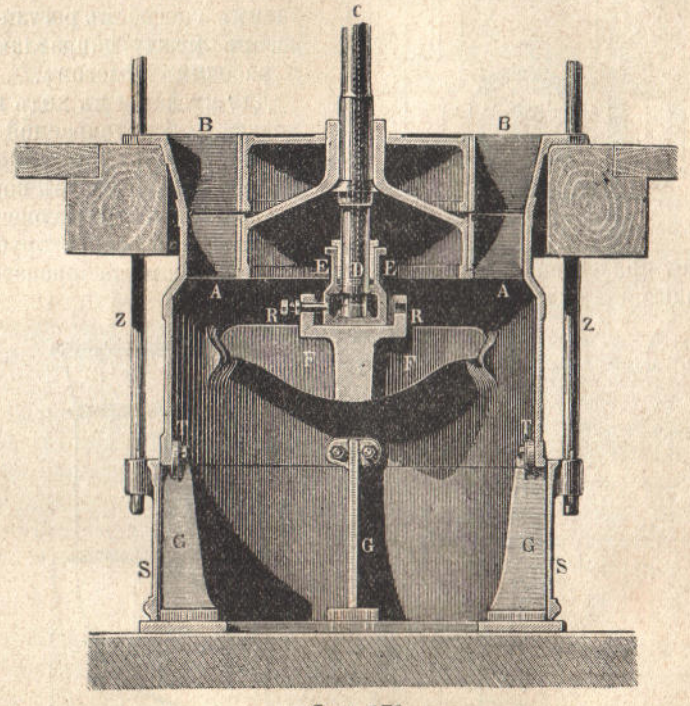
По *величинѣ напора* тюрбины раздѣляются на тюрбины *высокаго давленія* (H>4 м.) и тюрбины *низкаго давленія*. Наконецъ по способу дѣйствія воды, обусловливаемому *формою лопатокъ* тюрбиннаго колеса, тюрбины раздѣляются на *реактивныя* и *активныя*.

1. ПОЛНЫЯ ОСЕВЫЯ ТЮРБИНЫ.

177. Тюрбина Геншеля — Жонваля. На фиг. 170 представлена *тюрбина низкаго давленія*. Она состоитъ изъ горизонтальнаго колеса АА съ кривыми лопатками, заклиненнаго на вертикальномъ валу CD и установленнаго внутри чугунной трубы TT такъ, что между колесомъ А и стѣнками трубы оставленъ лишь самый незначительный зазоръ, для возможности свободнаго вращенія тюрбины. Это колесо называется *тюрбиннымъ колесомъ* или *тюрбиною*. Лопатки тюрбины образуютъ кривые каналы всегда одинаковой ширины сверху до низу, по которымъ движется вода. Надъ тюрбиною, въ томъ мѣстѣ, гдѣ труба имѣетъ коническую форму, установлено неподвижное колесо BB съ кривыми же лопатками, служащими для направленія движенія воды, вступающей въ тюрбину. Этотъ приборъ наз. *направляющимъ аппаратомъ тюрбины*. Каналы его имѣютъ вверху ширину немного большую, чѣмъ внизу. Лопатки тюрбины и направляющаго аппарата представляютъ всего чаще цилиндрическія поверхности, производящія которыхъ суть прямыя линіи, проходящія черезъ ось тюрбины. На фиг. 173 видно взаимное расположеніе лопатокъ направляющаго аппарата и тюрбиннаго колеса—лопатки эти закривлены въ разныя стороны. При цѣлесообразномъ устройствѣ лопатокъ тюрбины вода вступаетъ на нихъ изъ направляющаго аппарата безъ удара, причемъ, по мѣрѣ движенія ея по кривымъ лопаткамъ, вліяніемъ этихъ послѣднихъ живая сила ея преобразуется въ работу полезныхъ и безполезныхъ сопротивленій тюрбины. Пройдя тюрбину, вода собирается въ трубѣ Т, которую и заполняетъ мало по малу. Вращеніе тюрбины передается горизонтальному передаточному валу при помощи пары коническихъ колесъ.

комъ *Фонтэномъ*, придумавшимъ новый регулирующій приборъ и т. наз. *верхнюю пяту* (§ 177); тюрбинному колесу онъ придалъ устройство (расширяющіеся каналы), которое нынѣ составляетъ одну изъ особенностей такъ называемыхъ *активныхъ тюрбинъ Жирара*. Послѣднія появились въ 1851 г. и въ настоящее время, благодаря многимъ прекраснымъ качествамъ, представляютъ самый распространенный типъ тюрбинъ. Что касается теоріи тюрбинъ, то первое капитальное сочиненіе по этому предмету принадлежитъ Редтенбахеру (Theorie und Bau der Turbinen und Ventilatoren. 1844 г.).

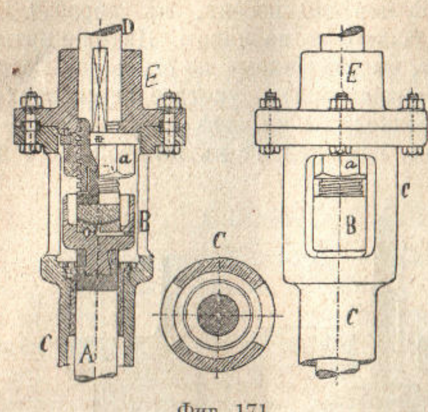
Подпятникъ EE установленъ на прочной опорѣ FF по оси вала при помощи винтовъ RR. Для предупрежденія прониканія низовой воды, заключающей въ себѣ нерѣдко песокъ, въ коробку E пятника, послѣдняя снабжена сальниковою набивкою. Питаніе пяты масломъ производится по каналу, высверленному по оси вала. Если вкладыши *бакаутовыя*, то для смазки пяты употребляется верхняя (напорная), вода, которая подводится къ пятѣ особою трубкою. Такое устройство нижней цапфы, помѣщенной въ низовой водѣ и



Фиг. 170.

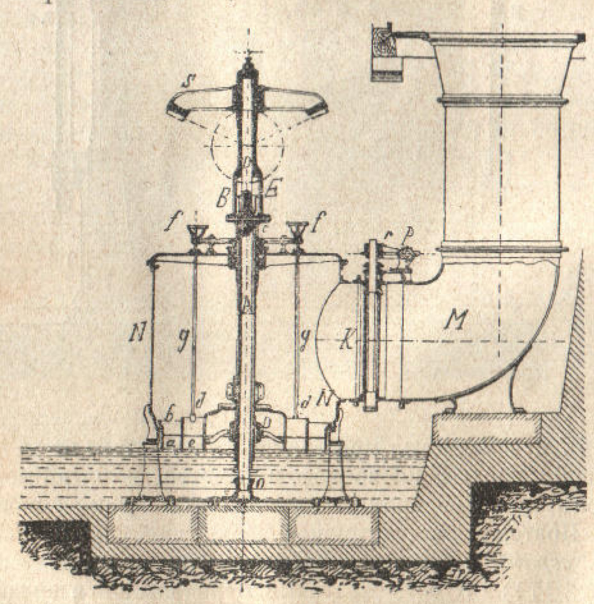
притомъ въ стѣсненномъ пространствѣ, представляетъ неудобство въ отношеніи наблюденія за нею и осмотра, который можетъ быть произведенъ лишь во время остановки и то если тюрбина не затоплена. Поэтому въ настоящее время чаще всего устраиваютъ такъ наз. *верхнія пяты*, придуманныя Фонтэномъ для своей тюрбины (фиг. 171). A есть желѣзный неподвижной стержень, на которомъ установленъ подпятникъ B, немного выше верхняго уровня. Желѣзный валъ D опирается стальною пятою на стальную же подушку подпятника и получаетъ вращеніе отъ заклиненной на немъ муфты E, которая соединена болтами съ верхнимъ концомъ (*фо-*

наремъ, въ которомъ установленъ подпятникъ) чугуннаго пустотѣлаго вала C; на нижнемъ концѣ вала C заклинена тюрбина. Такимъ образомъ вѣсъ подвижныхъ частей тюрбины вмѣстѣ съ давленіемъ воды передается при посредствѣ стойки A фундаменту. Посредствомъ гайки *a* можно поднимать или опускать валъ C вмѣстѣ съ тюрбиною и такимъ способомъ регулировать зазоръ между направляющимъ и рабочимъ колесомъ.



Фиг. 171.

Для пусканія въ ходъ и остановки разсматриваемой тюрбины служитъ *цилиндрическій щитъ*, состоящій изъ короткой трубы SS, охватывающей подпорки GG отводной трубы T и плотно прилегающей къ послѣдней. Поднятіе щита производится помощью стержней ZZ.



Фиг. 172.

178. Устройство тюрбинъ Жонваля *высокаго давленія* отличается отъ предыдущаго только *способомъ подведенія воды*. На фиг. 172

представлена тюрбина Жонваля высокаго давленія, состоящая изъ двухъ вѣнцовъ a,e, изъ коихъ каждый представляетъ какъ бы отдѣльную тюрбину. Такъ какъ при значительномъ напорѣ длина вала CD тюрбины вышла бы весьма большою, то во избѣжаніе этого, цилиндръ NN закрываютъ сверху крышкою, снабженною сальникомъ, черезъ который пропускаютъ трубчатый валъ тюрбины; вода же подводится трубою M, въ которой установленъ *поворотный клапанъ* K, служащій для пусканія въ ходъ или остановки тюрбины; движеніе этому клапану сообщается при помощи винтоваго зацѣпленія pr.

179. Расположеніе тюрбины Жонваля относительно нижняго уровня. Тюрбины Жонваля работаютъ одинаково хорошо, будутъ ли расположены подъ нижнею водою или выше нижняго уровня (въ трубѣ T, фиг. 170). Казалось бы, съ перваго взгляда, что при этомъ должна происходить потеря части напора H, но не трудно показать, что эта потеря только кажущаяся и вознаграждается вполнѣ *всасывающимъ дѣйствіемъ трубы* T. Въ самомъ дѣлѣ, пусть p_0 будетъ атмосферное давленіе на ед. площади верхняго и нижняго уровней и h—разстояніе верхней плоскости тюрбины отъ свободной поверхности. Тогда давленіе сверху на какую-либо точку воды при ея вступленіи въ тюрбину, будетъ: $p_0 + \Delta h$; снизу же дѣйствуетъ атмосферное давленіе p_0, уменьшенное высотою столба воды: $\Delta(H-h)$. Слѣдовательно, равнодѣйствующее давленіе будетъ: $p_0 + \Delta h - \{p_0 - \Delta(H-h)\} = \Delta H$. Такимъ образомъ, давленіе въ какой-либо точкѣ всегда одинаково и равно ΔH, на какой бы высотѣ ни была установлена тюрбина. Однако, во избѣжаніе разрыва струекъ, колесо не слѣдуетъ ставить выше извѣстнаго предѣла, который опредѣляется условіемъ, чтобы давленіе воды снизу на тюрбину было больше нуля, т. е. $p_0 - \Delta(H-h) > 0$, откуда $H-h < \frac{p_0}{\Delta}$, или, такъ какъ $\frac{p_0}{\Delta} = 10{,}334$ м. (§ 117), то $H-h$ должно быть < 10.334 м. Въ практикѣ $H-h$ допускаютъ не $> 6-7$ м. Возвышенное положеніе тюрбины надъ нижнимъ уровнемъ облегчаетъ осмотръ и ремонтъ тюрбины, ибо для совершеннаго освобожденія ея отъ воды достаточно прекратить впускъ воды въ верхній резервуаръ.

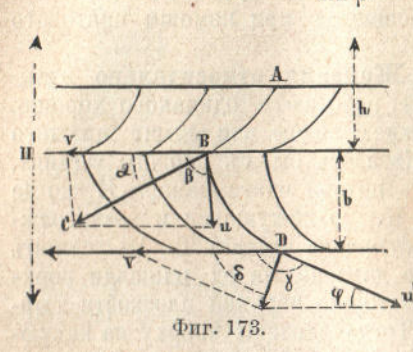
180. Условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія тюрбины. Главнѣйшія условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія тюрбины, какъ и всякаго гидравлическаго пріемника, состоятъ въ томъ, чтобы *вода вступала въ тюрбину безъ удара* и *оставляла ее со скоростью, равною нулю* (§ 161). Посмотримъ, какимъ образомъ можно удовлетворить этимъ условіямъ въ тюрбинѣ Жонваля.

Пусть c (фиг. 173) будетъ абсолютная скорость, съ какою вода выливается изъ направляющихъ лопатокъ. Такъ какъ лопатки рабочаго колеса обладаютъ скоростью v, то относительная ско-

рость u, съ какою вода начнетъ двигаться по лопаткѣ BD, выразится, по величинѣ и направленію, діагональю Bu параллелограмма, построеннаго на абсолютной скорости c и скорости переносснаго движенія v, взятой въ обратномъ направленіи, т. е.:

$$u^2 = v^2 + c^2 - 2vc \, \mathrm{Cos}\, \alpha \quad \ldots \quad (I)$$

$$\frac{v}{c} = \frac{\mathrm{Sin}(\beta - \alpha)}{\mathrm{Sin}\, \beta} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (II)$$



Фиг. 173.

Располагая первый элементъ лопатки BD по направленію относительной скорости u, *можно устранить вполнѣ ударъ* воды о лопатки. Такимъ образомъ, первое условіе наивыгоднѣйшаго дѣйствія тюрбины можетъ быть удовлетворено.

При движеніи воды между лопатками тюрбины начальная относительная скорость ея *u* измѣняется и пріобрѣтаетъ на послѣднемъ элементѣ лопатки BD нѣкоторое значеніе u'. Въ моментъ выхода изъ тюрбины кромѣ этой скорости вода обладаетъ еще скоростью v лопатокъ; поэтому абсолютная скорость w, съ какою вода оставляетъ тюрбину, выразится:

$$w = \sqrt{u'^2 + v^2 - 2u'v \, \mathrm{Cos}\, \varphi},$$

гдѣ $\varphi = 180^0 - \gamma$ есть уголъ, составляемый послѣднимъ элементомъ лопатки BD съ нижнимъ основаніемъ тюрбины. Изъ этой формулы видно, что $w = 0$, если $u' = v$ и $\varphi = 0$, т. е. если послѣдній элементъ лопатки касателенъ къ нижнему основанію тюрбины. Первое условіе можетъ быть удовлетворено надлежащимъ устройствомъ тюрбины. Второе же условіе, какъ и для колеса Понсле, практически невозможно, ибо вода не могла бы тогда выйти изъ тюрбины. Такимъ образомъ, скорость w выразится:

$$w^2 = 2v^2 (1 - \mathrm{Cos}\, \varphi) = 4v^2 \, \mathrm{Sin}^2 \frac{\varphi}{2} \quad \ldots \quad (III)$$

И такъ, *скорость выхода воды больше нуля.* Это обстоятельство составляетъ единственную существенную причину потери энергіи воды въ тюрбинѣ Жонваля.

181. Полезная работа тюрбины Жонваля. Единственная существенная *потеря энергіи* въ этой тюрбинѣ заключается, какъ мы видѣли, *въ живой силѣ,* уносимой водою при выходѣ изъ колеса, если не принимать въ расчетъ *гидравлическихъ сопротивленій* на пути воды отъ верхняго до нижняго уровня, а также *тренія на оси.*

Поэтому полезная работа тюрбины выразится: $T_u = \Delta QH - \Delta Q \frac{w_2}{2g}$, или, на основаніи формулы (III, 180):

$$T_u = \Delta Q \left\{ H - \frac{4v^2 \mathrm{Sin}^2 \frac{\varphi}{2}}{2g} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV)$$

Исключимъ изъ этого выраженія скорость v на окружности тюрбины.

Означимъ буквою F *сумму площадей поперечныхъ сѣченій* (нормальныхъ къ соотвѣтствующимъ скоростямъ) всѣхъ каналовъ направляющаго аппарата у истока, буквою F_1 такую же сумму на верхней плоскости тюрбины и буквою F_2—на нижней ея плоскости. Предполагая движеніе тюрбины *равномѣрнымъ*, а, слѣд., движеніе дѣйствующей на нее воды *установившимся*, мы должны принять, что *объемы воды, протекающіе черезъ различныя мѣста тюрбины въ равныя времена, равны между собою*, а потому, допуская, что сжатія нѣтъ, можемъ написать для расхода Q выраженіе:

$$Q = Fc = F_1 u = F_2 u'.$$

При движеніи этого объема воды въ тюрбинѣ отъ перваго элемента лопатки къ послѣднему живая сила его *въ относительномъ движеніи по лопаткамъ* измѣняется изъ $\frac{\Delta Q}{2g} u^2$ въ $\frac{\Delta Q}{2g} u'^2$, слѣд., приращеніе живой силы въ этомъ относительномъ движеніи будетъ: $\frac{\Delta Q}{2g}(u^2 - u'^2)$. Оно должно быть равно, по закону живыхъ силъ, суммѣ работъ всѣхъ силъ, дѣйствовавшихъ на объемъ Q въ разсматриваемомъ относительномъ движеніи въ тотъ же промежутокъ времени. Эти силы суть: 1) *вѣсъ воды*, равный ΔQ; 2) *гидродинамическое давленіе p* (на ед. площади), дѣйствующее въ сторону движенія въ томъ мѣстѣ, гдѣ вода переходитъ изъ направляющаго аппарата въ каналы тюрбины; 3) *давленіе p'* снизу; и 4) *центробѣжная сила въ разсматриваемомъ относительномъ движеніи* [1]).

Работа вѣса ΔQ воды, очевидно, равна $\Delta Q\mathfrak{h}$, гдѣ $\mathfrak{h}$ есть высота тюрбиннаго колеса. Чтобы опредѣлить *работу давленія p*, найдемъ сначала *полное давленіе* на всю площадь F_1; оно равно: $P = p\pi(r_2^2 - r_1^2)$, гдѣ r_2 есть наружный радіусъ рабочаго колеса, а r_1—внутренній. Работа этого давленія будетъ равна Ps, гдѣ s есть путь, пройденный въ разсматриваемый промежутокъ времени по направленію давленія, т. е. *по нормали къ поперечнымъ сѣченіямъ каналовъ*. Такъ какъ разсматриваемый промежутокъ времени соотвѣтствуетъ расходу Q, то онъ равенъ секундѣ; слѣд., путь s *равенъ проекціи скорости* u *на нормаль* къ сѣченію, т. е. $s = u\sin(180^\circ - \beta) = u\sin\beta$; поэтому $T_r P = p\pi(r_2^2 - r_1^2)u \sin\beta$; но $\pi(r_2^2 - r_1^2)$

---

[1]) *Учебникъ механики* автора, изд. 3-ье, § 221.

usinβ представляетъ объемъ воды, втекающій въ одну сек. въ рабочее колесо, т. е. $\pi(r_2^2-r_1^2)u\sin\beta = F_1 u = Q$; слѣд., $T_r P = pQ$. Подобнымъ же образомъ найдемъ для *работы давленія*—p' выраженіе:—$p'Q$. Наконецъ, что касается *работы центробѣжной силы* въ разсматриваемомъ относительномъ движеніи, то *она равна нулю*, такъ какъ можно принять, что при движеніи частицъ воды черезъ колесо ихъ разстоянія отъ оси не измѣняются.

Такимъ образомъ, искомое ур. живыхъ силъ будетъ имѣть видъ:

$$\frac{\Delta Q}{2g}\{u'^2 - u^2\} = \Delta Q b + Q(p-p'),$$

или такъ какъ $p' = p_0 - \Delta\{H-(h+b)\}$ (§ 179), гдѣ H есть полный напоръ, h—разстояніе отъ верхняго уровня до верхней плоскости тюрбины и b высота ея:

$$\frac{u'^2}{2g} - \frac{u^2}{2g} = \frac{p-p_0}{\Delta} + (H-h),$$

или, такъ какъ при условіи наивыгоднѣйшаго дѣйствія тюрбины, $u' = v$ (§ 180):

$$v^2 = u^2 + 2g\left\{\frac{p-p_0}{\Delta} + (H-h)\right\}.$$

Внеся сюда вмѣсто u^2 его величину изъ ур. (I) (§ 180), получимъ:

$$2vc\operatorname{Cos}\alpha = c^2 + 2g\left(\frac{p-p_0}{\Delta} + H-h\right).$$

Но по формулѣ Бернулли (§ 132) имѣемъ въ данномъ случаѣ:

$$c^2 = 2g\left(h + \frac{p_0-p}{\Delta}\right)$$

Подставивъ это значеніе для c^2 въ предыдущее ур., получимъ:

$$vc\operatorname{Cos}\alpha = gH \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (V).$$

Раздѣливъ ур. (V) на (II, § 180), найдемъ:

$$c = \sqrt{2gH\frac{\operatorname{Sin}\beta}{2\operatorname{Cos}\alpha.\operatorname{Sin}(\beta-\alpha)}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (a)$$

а перемноживъ ихъ, получимъ:

$$v^2 = gH\frac{\operatorname{Sin}(\beta-\alpha)}{\operatorname{Cos}\alpha.\operatorname{Sin}\beta} = gH\{1-\operatorname{tang}\alpha.\operatorname{cotg}\beta\}.$$

Внеся эту величину v^2 въ ур. (IV), получимъ для полезной работы тюрбины Жонваля выраженіе:

$$T_u = \Delta QH\left\{1-2\operatorname{Sin}^2\frac{\varphi}{2}(1-\operatorname{tang}\alpha.\operatorname{Cotg}\beta)\right\} \quad . \; . \; . \; (62)$$

Изъ этой формулы видно, что *полезная работа тюрбины возрастаетъ съ уменьшеніемъ угла* φ, что понятно, такъ какъ съ

уменьшеніемъ φ уменьшается и скорость w (§ 180, III), съ которою вода оставляетъ тюрбину. Но съ уменьшеніемъ угла φ будетъ уменьшаться высота поперечнаго сѣченія канала тюрбины, считаемая по нормали къ кривой лопаткѣ; поэтому, во избѣжаніе возрастанія гидравлическихъ сопротивленій, вслѣдствіе съуженія поперечнаго сѣченія канала, полезно увеличивать его ширину, считаемую по радіусу (расширять колесо книзу), какъ это было сдѣлано впервые Фонтэномъ (фиг. 174).

По динамометрическимъ измѣреніямъ тюрбина Жонваля, работая при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ (при *вполнѣ открытыхъ каналахъ*, т. е. какъ полная тюрбина—безъ регулированія (§ 183), преобразовываетъ 75°/₀ запаса работы воды въ полезную работу; слѣдовательно:

$$T_u = 0{,}75\Delta QH \text{ к. м., или } N = \frac{0{,}75\Delta QH}{75} \text{ п. л.} \quad . \quad (63)$$

Примѣры. 1) Въ *Бельгардѣ* (Эльзасъ) для утилизаціи водопада Роны поставлены 6 тюрбинъ Жонваля, каждая силою въ 630 п. л. При помощи проволочныхъ канатовъ работа тюрбинъ передается различнымъ фабрикамъ и заводамъ, расположеннымъ въ окрестности; 2) въ *Кренгольмѣ* (близъ Нарвы) поставлена тюрбина Ж. въ 1200 п. л., діам. 12 футъ, для бумагопрядильной и ткацкой фабрикъ.

182. Различіе реактивныхъ и активныхъ тюрбинъ. *Величина абсолютной скорости с*, съ какою вода вытекаетъ изъ направляющихъ каналовъ, какъ видно изъ формулы (а, § 181), *зависитъ отъ отношенія величины угла* β, образуемаго первымъ элементомъ лопатки тюрбины съ верхнею ея плоскостью, *къ углу* α, составляемому послѣднимъ элементомъ направляющей лопатки съ тою же плоскостью (фиг. 173). На самомъ дѣлѣ, такъ какъ $2\text{Cos}\alpha . \text{Sin}(\beta-\alpha) = \text{Sin}\beta + \text{Sin}(\beta-2\alpha)$, то

$$\frac{\text{Sin}\beta}{2\text{Cos}\alpha.\text{Sin}(\beta-\alpha)} = \frac{1}{1+\frac{\text{Sin}(\beta-2\alpha)}{\text{Sin}\beta}}; \text{ поэтому:}$$

1. *Если уголъ* $\beta > 2\alpha$, *то абсолютная скорость воды* $c < \sqrt{2gh}$ и $p > p_0$, гдѣ h есть напоръ, считаемый отъ верхняго уровня до верхней плоскости тюрбины; слѣд., *вода вытекаетъ изъ направляющаго аппарата со скоростью, меньшею скорости, соотвѣтствующей напору h. Избытокъ напора*, равный $x = h - \frac{c^2}{2g}$ расходуется *на увеличеніе скорости воды при движеніи ея въ каналахъ рабочаго колеса* и служитъ причиною *потери воды черезъ зазоръ* между направляющимъ колесомъ и тюрбиною.

Такимъ образомъ, *относительная скорость воды въ каналахъ тюрбины измѣняется не только по направленію, но и по величинѣ.* Такой способъ дѣйствія воды наз. *реактивнымъ дѣйствіемъ*, а са-

мыя тюрбины наз. *реактивными* или *тюрбинами съ избыткомъ давленія въ зазоръ.* Чѣмъ больше уголъ β, тѣмъ больше *степень реакціи* и тѣмъ больше потеря воды черезъ зазоръ.

Тюрбина Жонваля принадлежитъ къ числу реактивныхъ тюрбинъ. Изъ чертежа видно, что въ этой тюрбинѣ рабочіе каналы непрерывно *съуживаются* (по длинѣ) и слѣд., постоянно *заполнены водою.* Вслѣдствіе существованія избытка давленія въ зазорѣ *онѣ могутъ работать и подъ водою.*

2. *Если уголъ* $\beta = 2\alpha$, *то абсолютная скорость воды* $c = \sqrt{2gh}$ и $p = p_0$, слѣд., *вода вытекаетъ изъ направляющаго аппарата со скоростью, соотвѣтствующею напору h* — избытка напора не существуетъ. При движеніи воды въ тюрбинѣ *относительная скорость измѣняется* (*непрерывно*) *только по направленію.* Такой способъ дѣйствія воды наз. *активнымъ дѣйствіемъ* [1]), а самыя тюрбины — *активными* или по имени ихъ изобрѣтателя *тюрбинами Жирара.*

183. Регулированіе тюрбины Жонваля. Необходимость регулировать количество воды, притекающей къ тюрбинѣ, вызывается измѣняемостью потребности въ полезной работѣ, а также измѣняемостью расхода воды въ водоприводномъ руслѣ. Главное условіе, которому должно удовлетворять регулированіе, заключается въ томъ, чтобы при *уменьшеніи питанія тюрбины коефф. полезнаго дѣйствія ея по возможности менѣе измѣнялся,* а для этого необходимо, чтобы главные элементы, вліяющіе на этотъ коеффиціентъ — величины и направленія скоростей на послѣднемъ элементѣ лопатокъ направляющаго аппарата и на первомъ элементѣ лопатокъ рабочаго колеса — по возможности менѣе измѣнялись при регулированіи тюрбины, а также чтобы скорость на окружности колеса, обусловливаемая ходомъ рабочихъ машинъ, оставалась безъ перемѣны.

На фиг. 172 показанъ одинъ изъ распространенныхъ способовъ

---

[1]) Давленіе воды на стѣнки закрытаго сосуда, на одной и той же глубинѣ, одинаково. Но если въ одной изъ стѣнокъ сдѣлано отверстіе, черезъ которое вода вытекаетъ, то давленіе на эту часть стѣнки уничтожается, вслѣдствіе чего является *избытокъ давленія* на противолежащую отверстію стѣнку, равный тому давленію, которое вода производила на часть стѣнки, соотвѣтствующую отверстію. Этотъ избытокъ давленія наз. *реакціею воды.* Подъ вліяніемъ реакціи воды сосудъ получаетъ стремленіе двигаться по направленію, противоположному вытекающей струѣ. Величина реакціи обусловливается существующимъ въ сосудѣ напоромъ и величиною отверстія. Такъ какъ въ каналахъ активныхъ тюрбинъ не существуетъ избытка давленія, то *нѣтъ и реакціи,* все же давленіе воды на стѣнки каналовъ обусловливается ея живою силою. Въ реактивныхъ же тюрбинахъ давленіе воды на стѣнки каналовъ обусловливается не только живою силою, но и существованіемъ избытка давленія. Отсюда видно, что въ такъ наз. *реактивныхъ тюрбинахъ* существуетъ *совмѣстное активное и реактивное дѣйствіе* воды и что чисто *реактивныя тюрбины невозможны,* но чисто активныя тюрбины возможны (т. Жирара).

регулированія *задвижками* d, при помощи которыхъ производится закрываніе части направляющихъ каналовъ. Задвижки d подвѣшены къ тягамъ g, которыя приводятся въ движеніе посредствомъ маховичковъ съ гайками f. Какъ показываетъ теорія и опытъ, этотъ способъ регулированія, превращающій тюрбину въ партіальную, сопровождается увеличеніемъ потери напора на ударъ воды въ каналахъ тюрбины, выходящихъ изъ подъ закрытыхъ каналовъ направляющаго аппарата.

Наиболѣе совершенный способъ регулированія т. Жонваля состоитъ въ устройствѣ тюрбины съ нѣсколькими отдѣленіями (какъ на фиг. 172), которыя могутъ быть прикрываемы сверху плоскими кольцеобразными щитами (крышками); при этомъ неприкрытыя отдѣленія работаютъ при прежнихъ нормальныхъ условіяхъ.

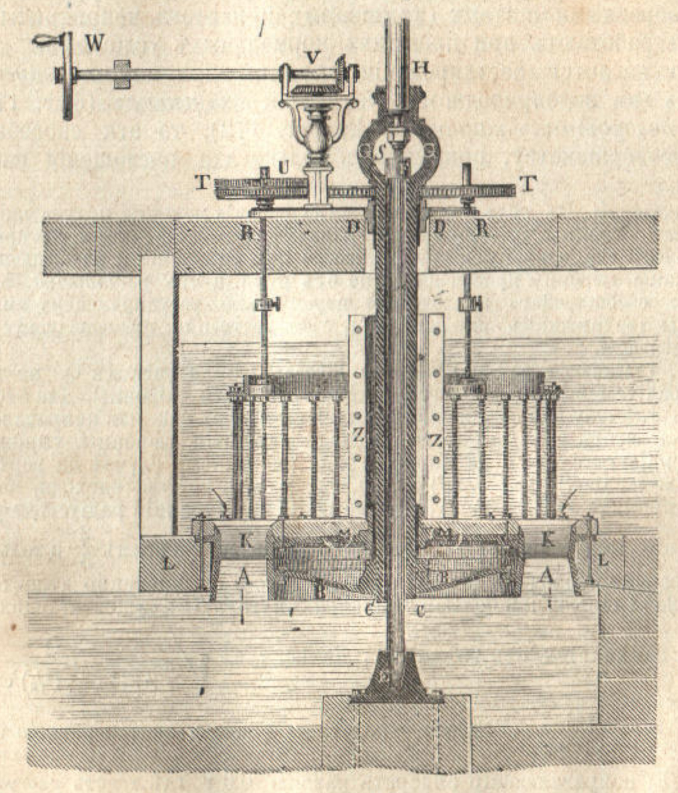
Что касается регулированія тюрбины при помощи *впускныхъ щитовъ* (въ водоприводномъ руслѣ) или *выпускныхъ* (фиг. 170), а также *поворотныхъ клапановъ* (k, фиг. 172), то эти способы, по ихъ несовершенству, примѣняютъ только для поглощенія избытка работы.

Примѣчаніе. Въ тѣхъ случаяхъ, когда рабочія машины, получающія движеніе отъ тюрбины, требуютъ очень равномѣрнаго хода, или когда при большомъ числѣ станковъ происходитъ частое ихъ сцѣпленіе и расцѣпленіе, регулированіе тюрбины производится не отъ руки, а отъ *регулятора*, автоматически сообщающаго надлежащее перемѣщеніе регулирующему прибору тюрбины (задвижкамъ или щитамъ), соотвѣтственно происшедшему измѣненію скорости.

184. Главнѣйшіе размѣры тюрбины Жонваля. Зная расходъ Q, не трудно найти радіусы внѣшней и внутренней окружности тюрбины. Для этого напишемъ формулу для объема воды, вытекающаго въ сек. изъ направляющаго аппарата. Этотъ объемъ равенъ площади отверстій тюрбины, умноженной на проекцію скорости c на нормаль, т. е. въ данномъ случаѣ на вертикаль. Онъ равенъ: $Q = \mu\pi (r_2^2 - r_1^2)\, c \operatorname{Sin}\alpha$, гдѣ μ есть коэфф. расхода, который можно принять $= 0{,}85$, r_2 и r_1 суть внѣшній и внутренній радіусы тюрбины; отношеніе между ними $\frac{r_1}{r_2}$ чаще всего дѣлается равнымъ $\frac{2}{3}$ и только при очень малыхъ расходахъ доходитъ до $^3/_4$. Уголъ α обыкновенно дѣлается отъ 15° до 24° (меньше при большихъ напорахъ); уголъ β въ существующихъ тюрбинахъ измѣняется отъ 90° до 120°. Далѣе: $r_2 = \sqrt{\frac{Q}{\mu\pi(1 - (^2/_3)^2 c \operatorname{Sin}\alpha}} = \sqrt{\frac{1{,}8\, Q}{\mu\pi c \operatorname{Sin}\alpha}}$. Высота b колеса тюрбины дѣлается равною 0,5 r, а высота b_0 направляющаго аппарата равною 0,6 r, гдѣ r есть *радіусъ средней окружности* тюрбины, равный $r = \frac{r_1 + r_2}{2}$. Какъ показали опыты въ Мюльгаузенѣ, *наивыгоднѣйшая скорость на средней окружности тюрбины* составляетъ $0{,}59\sqrt{2gH}$; слѣд., $v = \frac{r_2}{r} 0{,}59\sqrt{2gH}$, а число оборотовъ $n = 9{,}548 \frac{v}{r_2}$. Число лопатокъ направляющаго аппарата обыкновенно бы-

ваетъ отъ 12 до 16. а число лопатокъ тюрбины отъ 20 до 24; для толщины металла лопатокъ можно принять $\frac{1}{40}$ г. Наконецъ уголъ φ дѣлаютъ отъ 12 до 18°.

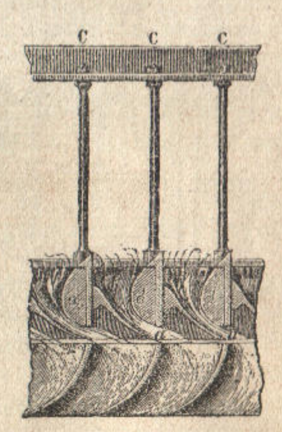
185. Тюрбина Фонтэна (фиг. 174). Въ 1840 г. фр. инженеръ Фонтэнъ устроилъ осевую тюрбину, въ которой впервые былъ примѣненъ принципъ расширенія каналовъ съ цѣлью повышенія ея полезнаго дѣйствія (§ 181). Тюрбина устанавливается не внутри трубы, сообщающей верхній и нижній резервуары (какъ у Жонваля), а непосредственно надъ нижнимъ уровнемъ, который касается колеса или даже нѣсколько покрываетъ его.



Фиг. 174.

Вода изъ верхняго резервуара проходитъ черезъ неподвижный направляющій аппаратъ КК, состоящій изъ двухъ чугунныхъ ободьевъ, между которыми помѣщены кривыя лопатки, отлитыя заодно съ ободьями, и вступаетъ безъ удара въ кривые каналы, образуемые лопатками тюрбины АА. Послѣдняя состоитъ также

изъ двухъ (слегка коническихъ) ободьевъ, отлитыхъ заодно съ лопатками. Спускаясь по лопаткамъ, вода давленіемъ своимъ на нихъ заставляетъ тюрбину вращаться. Вращеніе тюрбины принимается чугуннымъ трубчатымъ валомъ CC, соединеннымъ съ тюрбиною при помощи чугуннаго поддона BB, который съ одной стороны скрѣпленъ болтами съ внутреннимъ ободомъ тюрбины, а съ другой заклиненъ на оси C. Внутри вала CC свободно проходитъ вертикальный стержень SE, прочно установленный на днѣ нижняго резервуара и остающійся все время неподвижнымъ. На этомъ стержнѣ подвѣшена тюрбина при помощи слѣдующаго приспособленія. Трубчатая ось C скрѣплена съ валомъ H, служащимъ ей продолженіемъ и снабженнымъ на нижнемъ концѣ *стальною пятою* S. Эта пята упирается въ углубленіе, сдѣланное въ головкѣ F стержня EF, который такимъ образомъ играетъ роль подпятника для вала тюрбины. Вслѣдствіе такого приспособленія облегчается осмотръ и смазка пяты, которая всегда находится надъ водою. Направляющій аппаратъ KK укрѣпляется отдѣльно отъ тюрбины: онъ привинчивается къ балкамъ L. Къ внутреннему ободу аппарата прикрѣпленъ болтами сплошной чугунный дискъ, имѣющій въ серединѣ втулку, которая вмѣстѣ съ втулкою D, укрѣпленною на балкѣ R, служатъ подшипниками для трубчатой оси C. Наконецъ труба ZZ, окружающая ось C, служитъ для изолированія ея отъ воды. Регулированіе притока воды совершается помощью щита, состоящаго изъ ряда задвижекъ d,d (фиг. 175), помѣщающихся въ промежуткахъ между лопатками направляющаго аппарата. Задвижки эти снабжены закругленными деревянными подушками и прикрѣплены помощью вертикальныхъ стержней къ желѣзному кольцу a,a, которое поднимается и опускается при помощи трехъ стержней R,R..., концы которыхъ, снабженные нарѣзкою, проходятъ во втулкахъ трехъ одинаковыхъ колесъ T, служащихъ имъ гайками. Окружности всѣхъ колесъ охвачены безконечною цѣпью, которая передаетъ одновременно всѣмъ колесамъ вращеніе, полученное отъ рукоятки W и зубчатаго привода UV [1]).

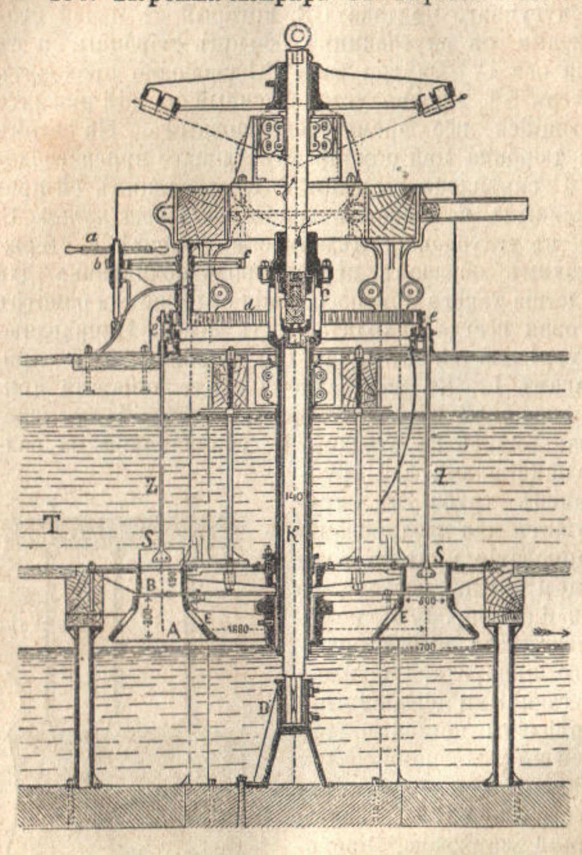


Фиг. 175.

[1]) Такой способъ регулированія количества воды, притекающей къ тюрбинѣ, имѣетъ тѣ же недостатки, какъ и регулированіе въ тюрбинѣ Жонваля, а именно: по мѣрѣ пониженія щита не только уменьшается площадь выпускныхъ отверстій направляющаго аппарата, но вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется и форма каналовъ этого колеса, отчего измѣняется и направленіе скорости c. При значительномъ пониженіи щита является значительное сжатіе

Опыты, произведенные *Мореномъ*, показали, что при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ тюрбина Фонтэна передаетъ до 65°/₀ работы воды.

186. Тюрбина Жирара. Эта тюрбина есть первая по времени появленія (1851 г.) *чисто активная тюрбина*. На фиг. 176 представлена тюрбина Жирара *низкаго давленія* (для напоровъ $<$ 4 м.). Она имѣетъ направляющій аппаратъ B, въ который вода поступаетъ прямо изъ ларя T. Собственно тюрбина A (рабочее колесо) заклинена на чугунномъ трубчатомъ валу, подвѣшенномъ на стойкѣ K при помощи фонарной пяты C (фиг. 171).

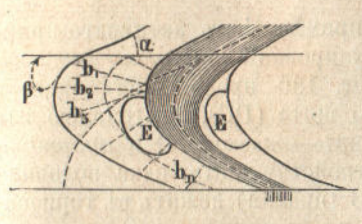


Фиг. 176.

Каналы рабочаго колеса дѣлаются всегда расширяющимися книзу (фиг. 176): нижняя ширина дѣлается отъ 2 до 3 разъ больше верхней. Вслѣдствіе такого устройства каналовъ, а также по той причинѣ, что

струи, вытекающей изъ канала колеса, которое не прекращается и внутри канала тюрбины; поэтому въ тюрбинѣ Фонтэна, при указанномъ способѣ регулированія, какъ и въ тюрбинѣ Жонваля, вода можетъ не заполнять каналовъ тюрбины. Для избѣжанія этихъ недостатковъ Фонтэнъ предложилъ устраивать вмѣсто регулированія щитомъ—*регулированіе катками*, на которые навиты кожаныя ленты, концы которыхъ прикрѣплены къ направляющему колесу. При помощи особаго механизма можно катить эти катки по кольцеобразной поверхности направляющаго аппарата въ ту или другую сторону, при чемъ лента будетъ свиваться или навиваться на нихъ и такимъ способомъ закрывать большее или меньшее число каналовъ направляющаго аппарата.

уголъ β дѣлается не больше 2α (§ 182) и потому поперечный (нормальный) размѣръ b (фиг. 177) каналовъ сначала *увеличивается* на небольшой длинѣ канала, но затѣмъ *до конца уменьшается*, вода не заполняетъ каналы—струя отстаетъ отъ правыхъ стѣнокъ. Для обезпеченія правильнаго протока воды въ боковыхъ стѣнкахъ каналовъ дѣлаются отверстія E (окна) для свободнаго притока воздуха, что въ особенности важно въ тѣхъ случаяхъ, когда *вслѣдствіе регулированія часть каналовъ закрыта*, такъ какъ подобною *вентиляціею* устраняется возможность образованія, вслѣдствіе всасывающаго дѣйствія расширяющихся каналовъ (§ 140), пустоты, вліяніемъ которой вода задерживалась бы въ каналахъ и происходилъ бы ударъ свѣжей струи объ отработавшую воду.



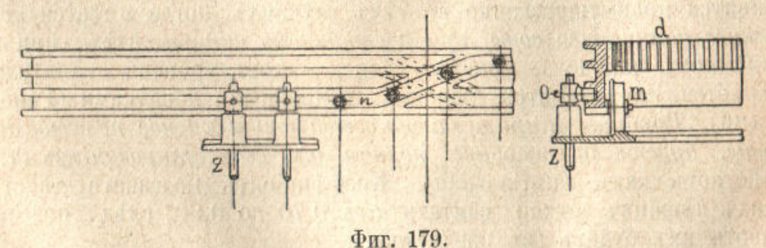
Фиг. 177.

Изъ сказаннаго ясно, что тюрбина Жирара не можетъ хорошо работать *подъ водою*, вслѣдствіе неизбѣжнаго заполненія воздушнаго пространства каналовъ низовой (*мертвою*) водою. Поэтому тюрбины Жирара ставятъ всегда нѣсколько *выше нижняго уровня*. Для устраненія этого недостатка *Генель* предложилъ въ 1858 г. дѣлать *двойныя лопатки* (фиг. 178), имѣющія назначеніе ограничить водяныя струи въ каналахъ рабочаго колеса.

Фиг. 178.

Въ тюрбинахъ *высокаго давленія* вода подводится къ направляющему аппарату при помощи трубы, подобно тому какъ въ тюрбинѣ Жонваля.

187. Регулированіе тюрбины Жирара. Въ тюрбинѣ, изображенной на фиг. 176, регулированіе производится при помощи задвижекъ s,s, подвѣшенныхъ къ вертикальнымъ тягамъ zz. Послѣднія получаютъ поступательное движеніе вверхъ или внизъ, при по-

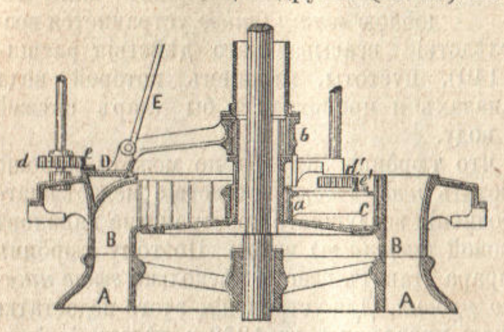


Фиг. 179.

средствѣ кулачковъ O (фиг. 179), отъ зубчатаго вѣнца d (съ внутреннимъ зацѣпленіемъ), ободъ котораго снабженъ желобками n, за-

хватывающими кулачки O. Ролики m служатъ для направленія вращательнаго движенія зубчатаго вѣнца d, которое ему сообщается, при помощи шестерни e и колеса c, сцѣпляющагося съ шестернею b, отъ ручнаго маховичка a.

Въ настоящее время, съ общимъ примѣненіемъ активнаго принципа, повсюду распространяется регулированіе *круглыми щитами*, какъ наиболѣе совершенное. На фиг. 180 представленъ способъ регулированія посредствомъ круглаго щита (DC), состоящаго изъ двухъ неодинаковыхъ по виду половинъ—*плоской* D и *цилиндрической* E. Соотвѣтственно такому устройству щита, одна половина отверстій направляющаго аппарата B (правая) лежитъ въ горизонтальной плоскости, а другая (лѣвая) на цилиндрической поверхности. При положеніи щита, изображенномъ на чертежѣ, всѣ направляющіе каналы открыты: тюрбина питается по всей окружности. Втулки a и b щитовъ центрированы по оси тюрбины и могутъ быть вмѣстѣ со щитами приведены въ движеніе около нея при помощи шестеренокъ d′ и d, сцѣпляющихся съ вѣнчиками e′ и e, прикрѣпленными къ щитамъ C и D. При этомъ щиты начнутъ прикрывать каналы направляющаго аппарата въ діаметрально-противоположномъ порядкѣ, что необходимо въ виду устраненія односторонняго дѣйствія воды на лопатки рабочаго колеса. Тяги E служатъ для надежной установки щита на направляющемъ аппаратѣ, позволяя дѣлать самый незначительный зазоръ между щитомъ и направляющимъ колесомъ, съ цѣлью устраненія тренія между ними.



Фиг. 180.

188. Полезная работа тюрбины Жирара. Такъ какъ тюрбины Жирара допускаютъ весьма совершенное регулированіе, то онѣ ставятся преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда имѣется *перемѣнное количество воды при постоянномъ напорѣ*, слѣд., при неизмѣнномъ нижнемъ уровнѣ; если же этотъ уровень значительно мѣняется, то ставится тюрбина съ двойными лопатками (Генеля, § 186). *Тюрбины Жирара даютъ всегда почти равное полезное дѣйствіе, будетъ-ли тюрбина полная или съ регулированіемъ* (т. е. работаетъ какъ партіальная). Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія этихъ тюрбинъ можно считать отъ 0,70 до 0,80; слѣд., полезная работа ихъ будетъ (въ среднемъ):

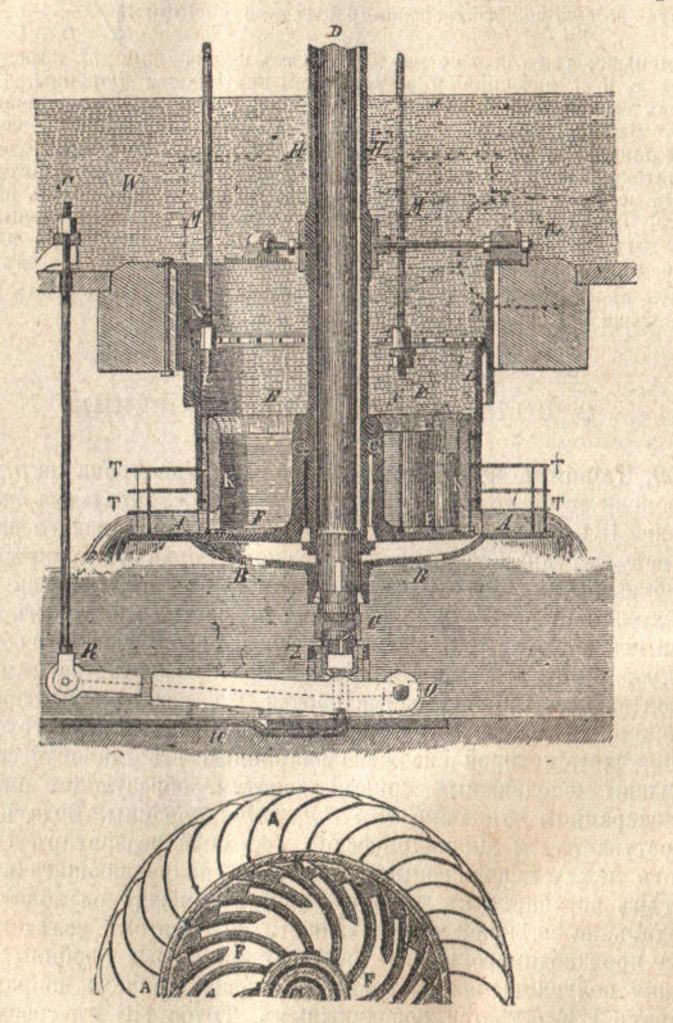
$$T_u = 0{,}75\,\Delta QH \text{ к. м., или } N = \frac{0{,}75\,\Delta QH}{75} \text{ п. л. . . . (64)}$$

189. Главнѣйшіе размѣры тюрбины Жирара. По данному числу паров. лош. и напору опредѣляютъ сначала расходъ Q. Затѣмъ по формулѣ: $Q = \mu\pi (r_2^2 - r_1^2) c \sin\alpha$, гдѣ, какъ и для тюрбины Жонваля, коефф. расхода μ можно взять $= 0{,}85$, а $c = \sqrt{2gh}$, и по эмпирической формулѣ, данной Мейсснеромъ, для *средняго радіуса тюрбины* (§ 184): r=отъ 1,15 до $2\sqrt{\frac{Q}{0{,}85\sqrt{2gh}}}$ (тѣмъ меньше, чѣмъ больше расходъ и чѣмъ меньше напоръ), опредѣляютъ радіусы r_2 и r_1 внѣшней и внутренней окружности тюрбины. Ширина каналовъ тюрбины внизу дѣлается отъ 2 до 3 разъ больше ширины ихъ вверху. Высота рабочаго колеса дѣлается равною ширинѣ его вверху, а высота направляющаго аппарата равною 0,7 высоты рабочаго колеса. Число лопатокъ рабочаго колеса для средняго діаметра до 1 м. дѣлается $i=36$, причемъ на каждый дальнѣйшій дециметръ слѣдуетъ прибавлять по одной лопаткѣ. Число лопатокъ направляющаго аппарата дѣлаетъ равнымъ $^4/_5 i$ до i. Уголъ α направляющихъ лопатокъ дѣлается отъ 15° до 30° (тѣмъ меньше, чѣмъ меньше расходъ Q). Наконецъ уголъ $\beta = 2\alpha$, а уголъ φ опредѣляется въ зависимости отъ степени расширенія каналовъ (тѣмъ меньше, чѣмъ больше расширеній) въ предѣлахъ отъ 13° до 28°.

2. ПОЛНЫЯ РАДІАЛЬНЫЯ ТЮРБИНЫ.

190. Тюрбина Фурнейрона. Тюрбина Фурнейрона есть первая по времени изобрѣтенія (1834 г.) *реактивная радіальная тюрбина.* На фиг. 181 представлена тюрбина Фурнейрона низкаго давленія. B,B, есть чугунная тарелка или поддонъ тюрбины, прикрѣпленный къ вертикальному валу CD; на закраинахъ этого поддона укрѣплены кривыя лопатки A,A, перекрытыя сверху желѣзнымъ кольцеобразнымъ ободомъ и образующія своею совокупностью собственно *тюрбину*—пріемникъ, напоминающій колесо Понсле, расположенное горизонтально. Промежуточные ободья T,T, раздѣляютъ тюрбину на отдѣленія или ярусы. Валъ тюрбины заключенъ внутри трубы HH, нижняя часть которой снабжена закраиною F,F; на этой закраинѣ укрѣплены неподвижныя кривыя лопатки, образующія вмѣстѣ съ этою закраиною *направляющій аппаратъ* тюрбины. Вода изъ бака W поступаетъ въ цилиндрическій чугунный резервуаръ EE, протекаетъ между неподвижными лопатками направляющаго аппарата и затѣмъ вступаетъ въ тюрбину, двигаясь между ея лопатками, и выходитъ на внѣшней ея окружности. При этомъ вслѣдствіе давленія, производимаго водою на вогнутыя перья тюрбины, эта послѣдняя получаетъ вращательное движеніе, причемъ направляющій аппаратъ F,F остается неподвижнымъ. Труба HG съ своею тарелкою FF и укрѣпленными на ней направляющими лопатками, исполняя роль направляющаго аппарата, приноситъ и другую пользу: она поддерживаетъ столбъ воды, стоящій надъ тюрбиною и вслѣдствіе этого значительно уменьшаетъ давленіе пяты на подпятникъ, а, слѣд., и треніе пяты тюрбины.

Для управленія притокомъ воды, поступающей въ тюрбину изъ направляющаго аппарата служитъ *щитъ* KLLK, имѣющій цилиндрическую форму. Опуская щитъ, можно совершенно прекратить доступъ воды къ тюрбинѣ; на фигурѣ щитъ представленъ припод-



Фиг. 181.

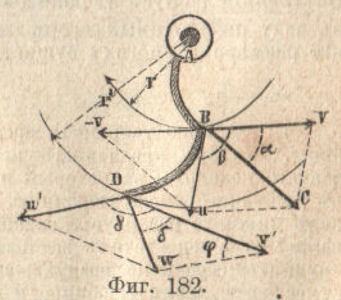
нятымъ до высоты перваго яруса тюрбины. Внутри этого щита прикрѣплены деревянные бруски или *подушки* K,K съ закругленными краями; бруски эти плотно прилегаютъ къ лопаткамъ направляющаго аппарата, помѣщаясь въ промежуткахъ между ними.

Назначенiе ихъ состоитъ въ предупрежденiи сжатiя и рѣзкихъ перемѣнъ скорости, а, слѣд., и ударовъ при переходѣ воды изъ резервуара въ направляющiй аппаратъ, благодаря чему не происходитъ почти никакой потери живой силы при движенiи воды къ тюрбинѣ AA. Сверхъ того подушки K,K, полезны еще въ томъ отношенiи, что связываютъ въ одно цѣлое края лопатокъ направляющаго аппарата, образуя какъ бы ободъ. Щитъ приводится въ движенiе при помощи трехъ стержней MM. Эти послѣднiе имѣютъ на верхнихъ концахъ винтовыя нарѣзки, проходящiя черезъ втулки (гайки) трехъ шестерней, съ которыми сцѣпляется зубчатое колесо, укрѣпленное въ серединѣ и приводимое въ движенiе посредствомъ безконечнаго винта. Такимъ способомъ достигается одновременное и равномѣрное движенiе стержней MM, а слѣдовательно и щита. При регулированiи щитъ ставятъ въ одно изъ трехъ слѣдующихъ положенiй: такъ, чтобы вода протекала черезъ всѣ три яруса, т. е. по всей высотѣ тюрбины, или только черезъ два нижнихъ яруса, или, наконецъ, черезъ одинъ нижнiй ярусъ. Остановка тюрбины достигается совершеннымъ опусканiемъ щита.

Валъ CD тюрбины опирается пятою на рычагъ OR, вращающiйся около оси O. Стержень SR, соединенный съ концемъ R рычага, снабженъ на концѣ нарѣзкою, на которую навинчивается гайка; поворачивая эту гайку, можно по произволу поднимать или понижать ось CD вмѣстѣ съ тюрбиною и такимъ способомъ точно установить ось. Трубка u служитъ для непрерывнаго введенiя масла въ подпятникъ.

Въ тюрбинахъ *высокаго давленiя* цилиндръ NN закрытъ сверху крышкою, снабженною сальникомъ, черезъ который пропускаютъ трубку HG, заключающую валъ, а вода поступаетъ въ тюрбину по трубѣ *n*.

191. Полезная работа тюрбины Фурнейрона. Для соблюденiя главнаго условiя наивыгоднѣйшаго дѣйствiя тюрбины—чтобы вода вступала изъ направляющаго аппарата въ рабочее колесо *безъ удара* (§ 180), необходимо, чтобы *первый элементъ лопатки BD совпадалъ съ относительною скоростью воды u* (фиг. 182). Изъ выраженiя для *абсолютной скорости выхода воды* изъ тюрбины: $w^2 = u'^2 + v'^2 - 2u'v'\cos\varphi$ видно, что эта скорость будетъ равна нулю, если $u' = v'$ и $\varphi = 0$. Первое условiе можетъ быть удовлетворено надлежащимъ устройствомъ тюрбины, но второе условiе, какъ и для тюрбины Жонваля, практически невозможно; слѣд., вода будетъ уносить съ собою при выходѣ изъ тюрбины часть живой силы.



Фиг. 182.

Что касается величины угловъ α, β и φ, то эти послѣднiе дѣлаются такiе же какъ и въ тюрбинѣ Жонваля.

Какъ было замѣчено самимъ Фурнейрономъ и какъ доказали опыты Морена (1838 г.), тюрбина работаетъ *наивыгоднѣйшимъ* образомъ при вполнѣ поднятомъ щитѣ. При регулированiи дѣйствiя тюрбины щитомъ происходитъ съуженiе каналовъ тюрбины, влекущее за собою потерю живой силы вслѣдствiе чего полезное дѣйствiе тюрбины понижается. Для устраненiя этого обстоятельства Фурнейронъ предложилъ устраивать тюрбины съ тремя *ярусами*, такъ чтобы высота каждаго яруса составляла только $^1/_3$ полной высоты всего колеса. Понятно, что при такомъ приспособленiи тюрбина можетъ работать правильно при трехъ положенiяхъ щита, а именно: 1) *когда всѣ три яруса открыты*, 2) *когда 2 яруса открыты* и 3) *когда открытъ одинъ нижнiй ярусъ*. Такое подраздѣленiе на ярусы оказывается однако весьма хорошимъ только для тюрбинъ, вращающихся въ воздухѣ; но для тюрбинъ затопленныхъ оно приноситъ мало пользы, потому что во внутрь каналовъ недѣйствующихъ ярусовъ входитъ вода изъ нижняго резервуара и своимъ вѣсомъ увеличиваетъ давленiе на пяту [1]).

Опыты показали, что *при наивыгоднѣйшихъ обстоятельствахъ* тюрбина Фурнейрона преобразовываетъ въ полезную работу 0,70 запаса работы воды, т. е.:

$$T_u = 0{,}70\Delta QH \text{ к. м., или } N = \frac{0{,}70\Delta QH}{75} \text{ п. л. . . . (65)}$$

192. Главнѣйшiе размѣры тюрбины Фурнейрона. Тюрбина Фурнейрона можетъ быть установлена для всякихъ напоровъ, отъ самыхъ малыхъ до самыхъ большихъ. По данному числу паровыхъ лошадей и напору опредѣляютъ прежде всего расходъ Q. Затѣмъ находятъ радiусъ r_0 щитоваго цилиндра, принимая (по Редтенбахеру), что скорость въ цилиндрѣ должна быть равна 1,11 м., изъ формулы: $\pi r_0^2 . 1{,}11 = Q$, откуда $r_0 = 0{,}538\sqrt{Q}$. м. Внутреннiй радiусъ тюрбины r принимается равнымъ $r_0 + 0{,}03$ м., имѣя въ виду необходимый зазоръ для щита: $r = 0{,}538\sqrt{Q} + 0{,}03$ м. Изъ сравненiя размѣровъ многихъ существующихъ тюрбинъ найдены слѣдующiя отно-

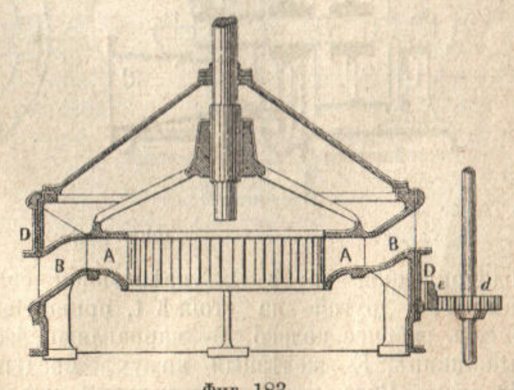
[1]) Съ цѣлью устранить вредное влiянiе воды, входящей внутрь тюрбины, Жираръ предложилъ помѣщать тюрбину внутри желѣзнаго водолазнаго колокола, въ который накачивается воздухъ насосомъ, приводимымъ въ движенiе самою тюрбиною. Воздухъ своимъ давленiемъ не дозволяетъ водѣ нижняго резервуара затоплять тюрбину: такимъ способомъ устраняется важнѣйшiй недостатокъ затопленной тюрбины. Чтобы возможно болѣе затруднить сообщенiе воздуха, заключеннаго подъ колоколомъ, съ наружною атмосферою, валъ тюрбины и подвѣсныя тяги щита пропускаютъ сквозь сальники, устроенные въ крышкѣ колокола. Это приспособленiе носитъ названiе *гидро-пневматизацiи*. Какъ показали опыты, работа, затрачиваемая на движенiе насоса, накачивающаго воздухъ подъ колоколъ, съ избыткомъ вознаграждается увеличенiемъ полезнаго дѣйствiя тюрбины.

шенія: $\frac{r'}{r} = 1,33$ и $\frac{m'}{m} = 1,33$, гдѣ m и m' суть числа лопатокъ направляющаго аппарата и тюрбины, а r' есть наружный радіусъ тюрбины.

Отношеніе площади впускныхъ каналовъ къ площади πr^2 дѣлается равнымъ 0,2, т. е: $\frac{2\pi r b \sin\alpha}{\pi r^2} = 0,2$, откуда $b = 0,1 \frac{r}{\sin\alpha}$ (α отъ 24° до 30° при $\beta = 90°$ и отъ 30° до 35° при $\beta = 120°$). Какъ показываетъ опытъ, наивыгоднѣйшая скорость на внутренней окружности тюрбины составляетъ: $v = 0,55 \sqrt{2gH}$; тогда скорость на внѣшней окружности будетъ: $v' = 1,33v$ Зная v, найдемъ наивыгоднѣйшее число оборотовъ n въ минуту по формулѣ: $2\pi rn = 60v$, откуда $n = 9,548 \frac{v}{r}$. Число направляющихъ лопатокъ дѣлается по Фурнейрону, отъ 24 до 30, а толщина—отъ 3 до 10 мм, смотря по величинѣ діаметра. Наконецъ, очертаніе лопатокъ направляющаго аппарата дѣлается по дугамъ круга, радіусъ котораго равенъ 0,5r, а лопатокъ тюрбины по дугамъ круга, радіусъ котораго опредѣляютъ по условію, чтобы дуга эта составляла требуемые углы β и φ; послѣдній уголъ дѣлается отъ 15 до 20°

193. Тюрбина Жирара. Принципъ активнаго дѣйствія воды примѣняется какъ для осевыхъ, такъ и для радіальныхъ тюрбинъ. На фиг. 183 изображена радіальная тюрбина Жирара съ *внѣшнимъ подводомъ* рабочей воды.

Вода вступаетъ *снаружи* въ направляющій аппаратъ B, изъ котораго идетъ въ тюрбину A и выливается во внутреннее пространство. Регулирующій щитъ DD состоитъ изъ двухъ полуцилиндрическихъ колецъ, прочно соединенныхъ между собою и получающихъ одновремен. движеніе отъ шестерни d и зубчатаго вѣнца e. Фиг. 183 представляетъ типъ такъ наз. *американскихъ* тюрбинъ, которыя почти всегда устраиваются съ наружнымъ питаніемъ.



Фиг. 183.

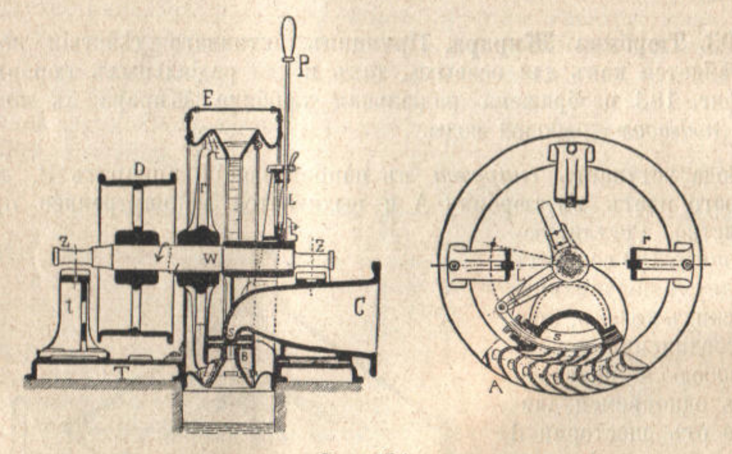
Въ радіальныхъ тюрбинахъ Жирара съ *внутреннимъ подводомъ*, вода, подобно тому какъ въ тюрбинахъ Фурнейрона, вступаетъ въ рабочее колесо изнутри.

Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія этихъ тюрбинъ можно принимать равнымъ отъ 0,70 до 0,80.

2. ПАРТІАЛЬНЫЯ ТЮРБИНЫ.

194. Партіальныя тюрбины, въ которыхъ вода дѣйствуетъ не на всѣ лопатки заразъ, а только на нѣсколько, ставятся при *большихъ напорахъ* и *незначительныхъ расходахъ* воды. Для такихъ напоровъ наливное колесо, дающее въ другихъ случаяхъ наилучшіе результаты, вышло бы слишкомъ огромнымъ, а полныя тюрбины, имѣя (по причинѣ большаго напора) на своей окружности значительную скорость и въ тоже время небольшой радіусъ (вслѣдствіе малости расхода), дѣлали бы слишкомъ большое число оборотовъ въ минуту $\left\{m = \frac{60v}{\pi d}\right\}$, что затруднило бы передачу движенія исполнительному механизму, если этотъ послѣдній не требуетъ большой скорости.

195. Тюрбина Жирара (фиг. 184). Эта тюрбина имѣемъ горизонтальную ось W, одинъ подшипникъ которой установленъ на

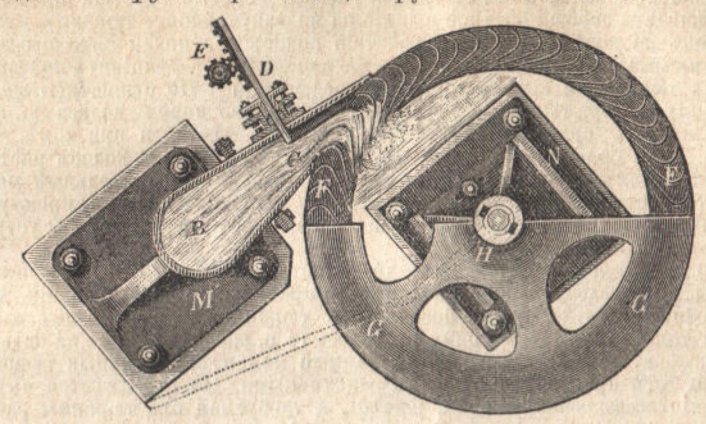


Фиг. 184.

водоприводной трубѣ C, укрѣпленной болтами на фундаментной рамѣ T, а другой—на стойкѣ t, привинченной къ той же рамѣ. A есть рабочее колесо, B—направляющій аппаратъ, D—передаточный шкивъ, E—желѣзный кожухъ, предупреждающій разбрасываніе воды. Вода подводится изнутри пятью направляющими каналами. Регулирующій приборъ состоитъ изъ дугообразной задвижки s, которая приводится въ движеніе отъ руки при помощи колѣнчатаго рычага PL, снабженнаго установочнымъ механизмомъ (для закрѣпленія рычага въ данномъ положеніи). Вентиляція происходитъ черезъ зазоръ. Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія этихъ тюрбинъ можно считать=0,7.

Примѣры. Среди множества построенныхъ тюрбинъ по типу фиг. 184, существуютъ такія, которыя при $H = 40$ м. и $Q = 8$ литр. въ сек. доставляютъ $2^1/_2$ пар. лош. при числѣ оборотовъ 1400 въ мин. (тюрбины для мелкой промышленности); а при $H = 120$ м. и $Q = 475$ литр. въ сек. даютъ 450 пар. лош. при числѣ оборотовъ 250 въ мин. [1])

196. Тюрбина Цуппингера (фиг. 185). Въ этой тюрбинѣ, первая идея которой была предложена Понсле еще въ 1826 г., вода подводится *снаружи* при помощи трубы B почти *по касательной*



Фиг. 185.

къ окружности тюрбины FF и потому она наз. нерѣдко *тангенціальною* тюрбиною. Въ концѣ подводной трубы установлены перегородки C, образующія три канала, предназначенные для надлежащаго направленія воды въ тюрбину. При помощи задвижки D, приводимой въ движеніе посредствомъ механизма шестерни и рейки, можно закрыть одинъ, два или всѣ три направляющіе канала и такимъ способомъ регулировать или совсѣмъ прекратить притокъ воды къ тюрбинѣ. Къ верхнему ободу тюрбины прикрѣплена чугунная тарелка GG, втулка H которой заклинена на вертикальномъ валу, принимающемъ вращеніе тюрбины. Валъ этотъ прочно установленъ стальною пятою въ подпятникѣ N, представленномъ отдѣльно на фиг. 186.

Фиг. 186.

Опыты, произведенные надъ тюрбинами Цуппингера, показали, что полезная работа ихъ составляетъ среднимъ числомъ 0,65 запаса работы воды, т. е.:

$$T_u = 0{,}65 \Delta Q H \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (66)$$

Примѣръ. Тюрбина, представленная на фиг. 185 (въ $^1/_{32}$ нат. вел.), построена при расходѣ 0,2 куб. метр. (7,06 куб. фут.) и напорѣ въ 6,17 метр. (20, 24 фут.); она дѣлаетъ 65 обор. въ мин.; для нея $\mu = 0{,}72$.

---

[1]) G. Meissner, Theorie und Bau der Turbinen und Wasserräder, 1878—1882 г.

197. Выборъ гидравлическаго пріемника; сравненіе гидравлическихъ колесъ съ тюрбинами Выборъ гидравлическаго пріемника объусловливается главнымъ образомъ существующимъ *напоромъ* воды, ибо гидравлическія колеса при напорѣ, большемъ 12 м., не устанавливаются, такъ какъ величина ихъ въ такихъ случаяхъ вышла бы слишкомъ значительная, между тѣмъ какъ тюрбины пригодны для всякаго напора. По отношенію къ *расходу* воды тюрбины не представляютъ существенной разницы отъ колесъ: онѣ не смотря на сравнительно малые размѣры, расходуютъ, какъ и колеса, большое количество воды; но *измѣняемость расхода* во время дѣйствія пріемника обнаруживаетъ вообще вредное вліяніе на полезную работу тюрбинъ, между тѣмъ какъ на коефф. полезнаго дѣйствія колесъ она почти никакого вліянія не имѣетъ; вліяніе же *измѣняемости напора* на коеффиціентъ полезнаго дѣйствія тюрбинъ и колесъ обратное предыдущему. По отношенію къ занимаемому *мѣсту*, тюрбины имѣютъ преимущество передъ колесами, такъ какъ требуютъ сравнительно весьма немного мѣста, и при томъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше напоръ; между тѣмъ какъ размѣры колесъ растутъ съ увеличеніемъ напора. Въ тѣхъ случаяхъ, когда исполнительный механизмъ требуетъ большой скорости вращенія тюрбины имѣютъ преимущество, ибо медленно ходящее гидравлическое колесо потребовало бы устройства сложной передачи.

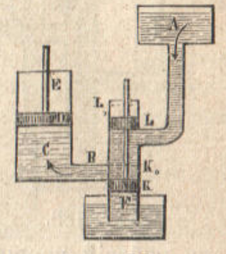
Что касается сравнительныхъ достоинствъ *активныхъ* и *реактивныхъ* тюрбинъ, то вслѣдствіе удобоисполнимости правильнаго регулированія, дающаго возможность легко приспосабливать тюрбину къ различнымъ расходамъ, а также строить тюрбину въ *запасъ* (т. е. расчитывать ее на большее число пар. л., нежели требуется въ данный моментъ), активныя тюрбины заслуживаютъ предпочтенія передъ реактивными. Но гдѣ имѣется въ распоряженіи *постоянный напоръ* и *расходъ*, а требуемая отъ тюрбины работа тоже не измѣняется, тамъ *реактивная т. безъ всякаго регулированія* представляетъ *простѣйшій* и *наиболѣе дешевый двигатель*. Точно также при *постоянномъ расходѣ* воды и *перемѣнномъ нижнемъ уровнѣ* вмѣстѣ съ перемѣнной работою, требуемою отъ тюрбины, реактивная тюрбина съ регулированіемъ поср. створнаго щита или поворотнаго клапана представляетъ наиболѣе дешевый и цѣлесообразный двигатель.

Когда сдѣланъ выборъ пріемника, то по его коефф. полезнаго дѣйствія и по данному запасу работы воды, можно будетъ опредѣлить число паровыхъ лошадей полезнаго дѣйствія пріемника. Сообразно съ этимъ можно будетъ опредѣлить число и размѣры исполнительныхъ механизмовъ, которымъ пріемникъ долженъ передать полезную работу. Въ слѣдующей таблицѣ, составленной *Вейсбахомъ*, приведены предѣльныя величины напора, расхода и коефф. полезнаго дѣйствія для главнѣйшихъ гидравлическихъ пріемниковъ съ вращательнымъ движеніемъ.

Родъ пріемника.	Напоръ H въ метрахъ.	Расходъ Q въ куб. м.	Коефф. п. д. μ.
Висячія колеса	0,1 — 0,3	0,80 — 3,70	0,20 — 0,30
Пошвенныя колеса съ круговымъ русломъ	0,3 — 1,0	0,24 — 3,70	0,30 — 0,40
Колеса Понсле	0,6 — 2,0	0,12 — 3,70	0,55 — 0,65
Боковыя колеса съ щитов. окномъ	1,0 — 2,0	0,12 — 2,40	0,40 — 0,55
» » съ водосливомъ .	1,5 — 3,0	0,12 — 2,00	0,65 — 0,70
Средненаливныя колеса	3,0 — 9,0	0,09 — 0,75	0,60 — 0,75
Верхненаливныя колеса	2,0 — 5,0	0,07 — 0,37	0,50 — 0,60
	5,0 — 7,5	0,06 — 0,60	0,64 — 0,75
	7,5 — 12,5	0,05 — 0,50	0,70 — 0,80
Полныя тюрбины	3,0 — 20,0	0,008 — 3,70	0,60 — 0,80
Партіальныя тюрбины	6,0 — 60,0	0,004 — 1,20	0,50 — 0,75

198. Назначеніе и общее устройство водостолбовыхъ машинъ. *Водостолбовыя машины* находятъ обширное примѣненіе для утилизаціи большихъ напоровъ при маломъ расходѣ *въ горномъ дѣлѣ*— для выкачиванія воды или разсоловъ изъ рудниковъ, причемъ соединеніе мотора съ исполнительнымъ механизмомъ (насосомъ) совершается непосредственно, безъ помощи какихъ либо приводовъ (машины прямаго дѣйствія), и *въ большихъ городахъ*, обладающихъ водопроводомъ—какъ *подъемныя машины* (въ банкахъ, отеляхъ, таможняхъ и т. п.) или какъ *машины-двигатели* для мелкой промышленности.

Главнѣйшія части каждой водостолбовой машины суть: *водонапорный бакъ* A (фиг. 187), изъ котораго вода приводится помощью *напорной* трубы AL въ *рабочій цилиндръ* C. Въ цилиндрѣ заключенъ *поршенъ* D, принимающій давленіе воды и передающій движеніе при помощи штока E приводамъ или исполнительному механизму. Отработавшая вода помощью *отводной* трубы F выпускается изъ цилиндра въ нижній резервуаръ. Кромѣ этихъ частей въ каждой водостолбовой машинѣ имѣется *распредѣлительный механизмъ*, служащій для прекращенія или возобновленія притока воды по напорной трубѣ къ рабочему поршню въ моменты, соотвѣтствующіе верхнему и нижнему положенію послѣдняго.



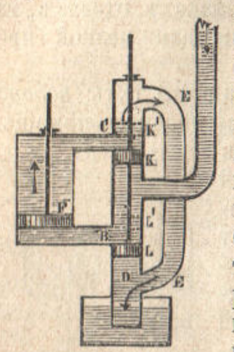
Фиг. 187.

Водостолбовыя машины бываютъ *простаго* и *двойнаго* дѣйствія. Въ первыхъ вода дѣйствуетъ только при движеніи поршня вверхъ, нисходящее же движеніе происходитъ отъ дѣйствія вѣса поршня и штока; въ машинахъ же двойнаго дѣйствія и восходящее и нисходящее движенія поршня производятся давленіемъ на него воды.

Употребительнѣйшее устройство распредѣлительнаго прибора *горныхъ водостолбовыхъ машинъ простаго дѣйствія* показано на фиг. 187. Онъ состоитъ изъ двухъ поршней K и L, заключенныхъ въ распредѣлительномъ цилиндрѣ KL и соединенныхъ общимъ стержнемъ. При положеніи поршней K и L, указанномъ на чертежѣ, вода питательнаго резервуара A входитъ по напорной трубѣ AL и соединительному каналу B въ рабочій цилиндръ подъ поршень C и своимъ давленіемъ заставляетъ его двигаться вверхъ. Когда поршень придетъ въ самое верхнее положеніе, то для произведенія обратнаго движенія его нужно только распредѣлительный механизмъ перевести въ его верхнее положеніе, вслѣдствіе чего движеніе воды въ напорной трубѣ AL прекратится, вода, находящаяся подъ поршнемъ C, уйдетъ по трубѣ D въ нижній резервуаръ и поршень опустится. Хотя распредѣленіе воды могло бы совершаться и безъ помощи поршня L однимъ поршнемъ K, который поэтому и наз. *распредѣлительнымъ*, но существованіе поршня L

полезно въ томъ отношенiи, что давленiе дѣйствующей воды на поршень K сверху уравновѣшивается такимъ же давленiемъ на поршень L снизу, отчего значительно облегчается передвиженiе распредѣлительнаго механизма. На этомъ основанiи поршень L наз. *уравнительнымъ*.

Въ машинахъ *двойнаго дѣйствiя* (фиг. 188) распредѣлительная труба соединена какъ съ нижнею частью рабочаго цилиндра (каналомъ B), такъ и съ верхнею (каналомъ C), и кромѣ того верхнiй ея конецъ сообщается съ отводящею трубою D при помощи соединительной трубы EE. При положенiи поршней K и L, показанномъ на фиг., вода давитъ на нижнюю плоскость поршня F и заставляетъ его подниматься, вода же, находящаяся надъ поршнемъ, выталкивается этимъ послѣднимъ черезъ каналъ C и соединительную трубу EE въ отводную трубу D, а изъ нея въ нижнiй резервуаръ. Перемѣстивъ распредѣлительный механизмъ, когда поршень придетъ въ верхнюю мертвую точку, въ положенiе K'L', показанное на чертежѣ пунктиромъ, заставимъ дѣйствующую воду давить на рабочiй поршень сверху, отчего послѣднiй пойдетъ внизъ и т. д. Поршень K необходимъ здѣсь не только для уравновѣшиванiя давленiя на поршень L, но является самъ распредѣлительнымъ поршнемъ для канала C.



Фиг. 188.

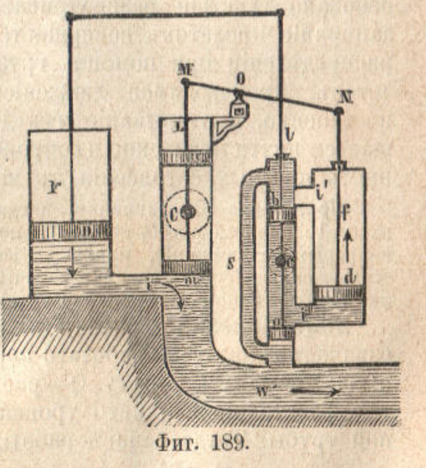
Примѣчанiе. Кромѣ распредѣленiя воды поршнями существуетъ распредѣленiе помощью клапановъ и крановъ, дѣйствiе которыхъ ничѣмъ существенно не отличается отъ разсмотрѣннаго выше распредѣленiя поршнями.

199. Вспомогательные распредѣлительные механизмы; вспомогательная водостолбовая машинка. Въ водостолбовыхъ машинахъ распредѣлительный механизмъ долженъ открывать и закрывать пролеты для воды только въ тѣ моменты, когда рабочiй поршень приходитъ въ свои мертвыя точки, потому что если бы, напр., впускной каналъ былъ открытъ прежде, нежели рабочiй поршень успѣлъ совершить свой ходъ, то притекшая къ поршню вода, будучи несжимаемымъ тѣломъ, или произвела бы изломъ поршня, или же заставила бы его двигаться обратно, не окончивъ полнаго хода. Это обстоятельство усложняетъ устройство самодѣйствующаго распредѣлительнаго механизма, ибо для этого недостаточно только соединить извѣстнымъ образомъ распредѣлительный механизмъ со штокомъ рабочаго поршня. Дѣйствительно, при концѣ своего хода, напр., къ верхней мертвой точкѣ, рабочiй поршень C долженъ, для возможности обратнаго движенiя, передвинуть распредѣлительный механизмъ изъ нижняго положенiя въ верхнее. При этомъ пере-

движенiи распредѣлительнаго прибора будетъ мгновенiе, когда онъ займетъ среднее положенiе K_0L_0 (фиг. 187), при которомъ дѣйствующая вода разобщится съ рабочимъ цилиндромъ. Съ этого момента вода подъ поршнемъ перестанетъ двигаться и не будетъ уже производить никакого давленiя на него, вслѣдствiе чего движенiе поршня сейчасъ же прекратится, а вмѣстѣ съ нимъ и распредѣлительный механизмъ остановится въ положенiи L_0K_0. Это обстоятельство, будучи причиной мгновенной остановки всѣхъ движущихся частей машины, производитъ въ ней весьма значительныя и въ высшей степени *вредныя сотрясенiя.* Въ нѣкоторыхъ водостолбовыхъ машинахъ для сведенiя распредѣлительнаго поршня со средняго положенiя употребляются особые *грузы*, которые приподнимаетъ рабочiй поршень во время своего восходящаго движенiя, но въ тотъ моментъ, когда поршень приходитъ въ верхнюю мертвую точку, сцѣпленiе груза со штокомъ поршня прекращается и грузъ начинаетъ падать внизъ и при этомъ сообщаетъ движенiе распредѣлительному механизму (*крану*, *поршнямъ* или *клапанамъ*), который и открываетъ проходъ для воды.

Другой весьма употребительный способъ распредѣленiя состоитъ въ устройствѣ такъ называемой *вспомогательной водостолбовой машинки.* Обѣ машины, главная и вспомогательная, связаны между собою такимъ образомъ, что главная водостолбовая машина ведетъ распредѣлительный механизмъ вспомогательной, а эта послѣдняя у главной, и такимъ образомъ одна другую сводятъ съ мертвой точки.

Фигура 189 представляетъ водостолбовую машину простаго дѣйствiя съ вспомогательною распредѣлительною машинкою двойнаго дѣйствiя. D и d суть рабочiе поршни, первый у главной машины, второй у вспомогательной; m и n—поршни распредѣлительняго прибора главной, и a и b поршни такого же прибора вспомогательной машинки. Стержень l поршней a и b связанъ неразрывно со штокомъ F главной машины такъ, что онъ движется вверхъ и внизъ одновременно съ поршнемъ D. Штокъ же f вспомогательной машинки соединенъ со штокомъ L поршней m и n помощью рычага MON, цапфа котораго утверждена въ подшипникѣ O. Наконецъ, C и c суть отверстiя или оконечности водонапорныхъ трубъ, ведущихъ воду изъ верхняго резервуара въ распредѣлительные цилиндры.



Фиг. 189.

На фигурѣ представленъ тотъ моментъ, когда поршень d только что началъ свое восходящее движенie, а поршень D близокъ къ нижней мертвой точкѣ. При этомъ отработавшая вода вытекаетъ изъ рабочаго цилиндра F черезъ соединительную трубу i въ отводную трубу W. Между тѣмъ во вспомогательной машинкѣ рабочая вода изъ напорной трубы c поступаетъ по соединительной трубѣ i″ подъ поршень d, а отработавшая вытекаетъ черезъ i′ и s въ отводную трубу W. Поднимающiйся поршень d вспомогательной машинки, повернувъ рычагъ MON, передвинетъ внизъ распредѣлительный поршень m, такъ что въ моментъ, когда рабочiй поршень достигнетъ нижней мертвой точки, вполнѣ возстановится сообщенie напорной трубы C съ рабочимъ цилиндромъ. Поршень D начнетъ подниматься вмѣстѣ съ поршнями a и b. Прежде нежели рабочiй поршень дойдетъ до верхней мертвой точки, поршень d придетъ въ свою верхнюю мертвую точку, а поршни a и b закроютъ пролеты i′ и i″; но такъ какъ въ это время поршни a и b продолжаютъ подниматься вмѣстѣ съ поршнемъ D, то пролеты i′ и i″ вскорѣ откроются съ противоположной стороны и рабочая вода путемъ c—i′ пройдетъ въ верхнюю часть цилиндра f и начнетъ двигать поршень d внизъ. Тогда распредѣлительный поршень m главной машины снова поднимется и къ концу хода поршня D установитъ сообщенie рабочаго цилиндра съ отводною трубою W. Поршень D начнетъ снова опускаться и т. д.

Въ этомъ механизмѣ поршень вспомогательной машинки идетъ нѣсколько впереди рабочаго поршня главной; на этомъ опереженiи основано дѣйствie разсматриваемаго распредѣленiя. Открыванie и запиранie пролетовъ совершается постепенно, между тѣмъ какъ въ распредѣленiи при помощи грузовъ только закрыванie этихъ пролетовъ, производимое движенiемъ рабочаго поршня, происходитъ постепенно, а открыванie ихъ дѣйствiемъ падающаго груза совершается почти мгновенно и сопровождается ударомъ воды, производящимъ вредныя сотрясенiя въ машинѣ.

Примѣчанie. Въ случаяхъ, когда прямолинейное качательное движенie рабочаго поршня преобразуется помощью шатуна и кривошипа въ круговое непрерывное движенie, можно на валѣ насадить маховикъ, который своею живою силою будетъ сводить рабочiй поршень съ мертвой точки, и замѣнитъ собою вспомогательный распредѣлительный механизмъ.

200. Полезная работа водостолбовыхъ машинъ. Пусть D означаетъ дiаметръ рабочаго поршня, L—его ходъ, n—число двойныхъ качанiй въ минуту, Q—расходъ воды въ секунду и H—напоръ, т. е. разстоянie верхняго уровня воды въ бакѣ до отверстiя выпускной трубы. Тогда запасъ работы воды выразится: $T_m = \Delta QH$, гдѣ

$$Q = \begin{cases} \frac{\pi D^2}{4} L \frac{n}{60} & \text{— для машинъ простаго дѣйствiя} \\ \frac{\pi D^2}{4} L \frac{2n}{60} & \text{— » » двойнаго »} \end{cases}$$

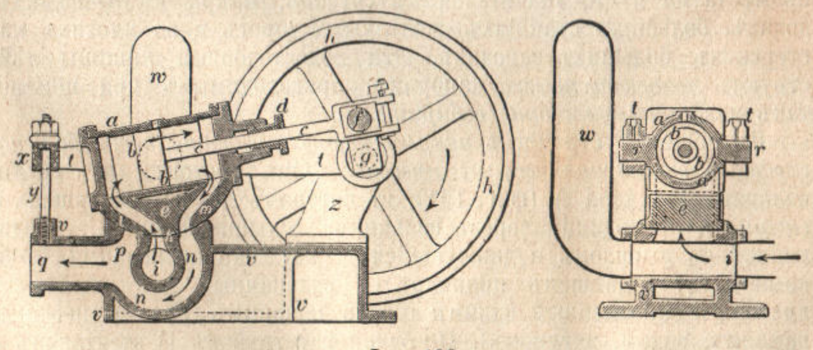
Полезное дѣйствіе водостолбовыхъ машинъ, какъ показываютъ опыты, составляетъ среднимъ числомъ отъ 0,70 до 0,80 запаса работы воды, т. е.:

$$T_u = (0,70-0,80)\,\Delta QH \,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\,.\, (67).$$

Потеря работы происходитъ главнымъ образомъ вслѣдствіе *тренія набивки поршня* о стѣнки рабочаго цилиндра и *гидравлическихъ сопротивленій* при движеніи воды по трубамъ; сверхъ того *часть работы воды тратится на сообщеніе движенія распредѣлительному механизму.* Относительно тренія воды въ напорной трубѣ должно замѣтить, что такъ какъ оно пропорціонально квадрату скорости и обратно пропорціонально діаметру трубы (§ 147), то оно будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ больше діаметръ трубы и чѣмъ медленнѣе движеніе воды, т. е. чѣмъ медленнѣе движеніе рабочаго поршня. Поэтому среднюю скорость поршня $c = \frac{nL}{30}$ должно дѣлать по возможности меньше. Въ существующихъ машинахъ малой силы эта скорость не превосходитъ 0,75 м.; въ машинахъ средней силы она бываетъ не болѣе 0,5 м., а въ машинахъ большой силы не болѣе 0,3 метра.

Примѣры. Водостолбовая машина, устроенная въ свинцовыхъ рудникахъ въ Гюльго (въ Бретани) при напорѣ въ 198 фут. преобразуетъ въ полезную работу 66% работы воды. Другая машина, устроенная близъ Фрейберга въ шахтѣ Alte Mordgrube, работая при напорѣ 356 фут., при ходѣ поршня=8 фут., діаметрѣ цилиндра $D=1^1/_2$ фут. и $n=4$, преобразуетъ въ полезную работу 0,84 работы воды.

201. Водостолбовая машина Шмидта (фиг. 190). Эта машина имѣетъ большое распространеніе въ мелкой промышленности. Она состоитъ изъ чугуннаго цилиндра *a* съ поршнемъ *b*, качающагося



Фиг. 190.

около массивныхъ цапфъ rr; цилиндръ снабженъ цилиндрическимъ приливомъ *e*, который вмѣстѣ съ цилиндромъ *a* качается въ неподвижной чашѣ *k*, имѣющей три канала *n*, *k* и *p*, сообщающихся,

смотря по положенію цилиндра, съ однимъ изъ двухъ его каналовъ *l* и *m*. Рабочая вода притекаетъ къ цилиндру постоянно по трубѣ *i*, а выходитъ изъ него, отработавши, по трубѣ *q*. При положеніи цилиндра, показанномъ на чертежѣ, рабочая вода входитъ въ цилиндръ по каналу *kl*, движетъ поршень слѣва направо, при чемъ отработавшая вода изъ правой части цилиндра выходитъ по каналу *m* въ отводный каналъ *nq*. Качательное движеніе поршня преобразуется въ круговое непрерывное движеніе вала *g* при помощи шатуна *c* и кривошипа *fg*. Для устраненія сильныхъ ударовъ воды въ напорной трубѣ (при перемѣнахъ хода), послѣдняя снабжена воздушнымъ колоколомъ *w* (мѣднымъ). Для уравниванія хода служитъ маховое колесо h.

Слѣдуетъ обратить вниманіе еще на деталь установки цапфъ *r*. Подшипники этихъ цапфъ укрѣплены къ балкамъ *t*, передніе (правые) концы которыхъ укрѣплены прочно въ стойкахъ *zz*, отлитыхъ заодно со станиною v, а задніе соединены поперечиною x, опирающеюся на винтъ y. При такомъ устройствѣ опоръ для цапфъ не трудно регулировать плотное соприкасаніе прилива *e* съ чашею *k*, съ цѣлью устранить протеки воды, а также сильное треніе на соприкасающихся поверхностяхъ *e* и *k*.

По опытамъ *Баха*, произведеннымъ въ 1872 г., машина Шмидта въ 1 п. л. *полезной работы* расходуетъ, при H=30 м., 12 куб. м. воды въ часъ. Число оборотовъ въ мин. 100. Коэфф. п. д. μ=0,55. При H=60 м., расходъ воды составлялъ всего 6 куб. м. въ часъ.

202. Аккумуляторъ Армстронга. Водостолбовыя машины имѣютъ также примѣненіе *въ гидравлическихъ подъемныхъ механизмахъ* (воротахъ и кранахъ), гдѣ онѣ служатъ для подъема и передвиженія съ мѣста на мѣсто значительныхъ грузовъ, напр., въ таможняхъ, докахъ, большихъ станціяхъ желѣзныхъ дорогъ и во многихъ мастерскихъ большихъ заводовъ. Эти водостолбовыя машины дѣйствуютъ *искусственнымъ* напоромъ, производимымъ при помощи такъ наз. *аккумулятора (собирателя)*.

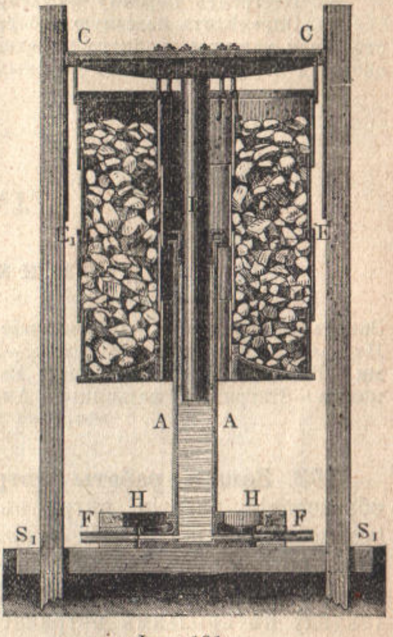
Въ общемъ устройствѣ *аккумуляторъ представляетъ большое сходство съ гидравлическимъ прессомъ*. Онъ состоитъ изъ вертикальнаго цилиндра A (фиг. 191), въ которомъ движется поршень B *(ныряло)*, проходящій черезъ сальникъ. Къ поперечинѣ C, соединенной съ нырядомъ и движущейся между направляющими стойками E_1E_1, подвѣшенъ цилиндръ G, склепанный изъ желѣзныхъ листовъ и наполненный какимъ нибудь дешевымъ грузомъ (пескомъ, камнемъ, водою, чугуномъ). По одной изъ трубокъ F въ стаканъ A вгоняется вода нагнетательнымъ насосомъ, который приводится въ движеніе небольшою паровою машиною. При этомъ нагрузка поднимается и такимъ способомъ происходитъ въ приборѣ накопленіе потенціальной энергіи. Другая трубка F служитъ для проведенія

воды, находящейся подъ значительнымъ напоромъ, изъ цилиндра A къ водостолбовымъ машинамъ.

Нагрузка разсчитывается такимъ образомъ, чтобы давленіе, ею производимое на кв. ед. поверхности воды или площади ныряла, составляло требуемое число атмосферъ. Предположимъ, напр., что діаметръ ныряла равенъ 0,45 м., а давленіе должно быть въ 50 атм. (на ед. площади). Давленіе одной атм. на кв. м., какъ извѣстно (§ 117), равно вѣсу столба воды, имѣющаго основаніемъ 1 кв. м., а высотою 10,3340 м., т. е. равно 10,334 klg. Давленіе же 50 атм. и притомъ не на един., а *на всю площадь ныряла* будетъ: $Q = 50.10334.\frac{\pi D^2}{4} = 82664$ k. Нагрузка должна быть равна этому давленію. Если высота стакана аккумулятора равна, напр., 6 метр., то запасъ работы воды аккумулятора, находящійся въ нашемъ распоряженіи, будетъ:

$T_m = 6Q$ к. м. $= 495984$ к. м.,

что равносильно работѣ паровой машины силою въ 1,84 пар. л. въ теченіе часа.



Фиг. 191.

Изъ сказаннаго ясно, что *аккумуляторъ не есть собственно машина-пріемникъ*: онъ только собираетъ энергію; и понятно, что было бы невыгодно пользоваться аккумуляторомъ для непрерывнаго движенія водостолбовой машины. Но подъемныя машины по самому роду работы, ими производимой, должны дѣйствовать только по временамъ, поэтому въ такихъ случаяхъ оказывается выгоднѣе дѣйствовать водостолбовыми машинами, подготовляя для нихъ напоръ помощью небольшой паровой машины, нежели имѣть постоянно готовую къ дѣйствію, на случай надобности, паровую машину значительныхъ размѣровъ. Пусканіе насоса въ ходъ и прекращеніе его дѣйствія производится самимъ аккумуляторомъ въ моменты, соотвѣтствующіе самому низкому и самому высокому положенію платформы C. Въ эти моменты платформа, соприкасаясь съ системою рычаговъ, соединенною съ паровпускнымъ клапаномъ паровой машины, движущей насосъ, открываетъ или закрываетъ этотъ клапанъ и такимъ способомъ пускаетъ въ ходъ или останавливаетъ паровую машину и насосъ.

ЗАДАЧИ.

83. Построить тюрбину Жонваля или Жирара въ 40 пар. л. при напорѣ 10 м.

84. Построить тюрбину Фурнейрона въ 50 пар. л. при напорѣ въ 2 м.

85. Опредѣлить полезную работу, діаметръ и ходъ главнаго поршня водостолбовой машины двойнаго дѣйствія. Дано: $H=350'$, $Q=2$ куб. ф., средняя скорость поршня$=1'$, число двойныхъ размаховъ въ минуту $n=4$.

ГЛАВА IX.

Пріемники вѣтра.

Запасъ работы вѣтра.—Направленіе и скорость вѣтра; анемометръ Клера.—Подраздѣленіе вѣтряныхъ колесъ.—Устройство вѣтрянаго колеса съ крыльями.—Полезная работа вѣтрянаго колеса.—Регулированіе скорости вѣтрянаго колеса.—Вѣтряныя мельницы.—Американскія вѣтряныя колеса.—Дѣйствіе вѣтра на паруса.—Задачи.

203. Запасъ работы вѣтра. Пріемники, служащіе для преобразованія энергіи вѣтра въ полезную работу, имѣютъ вращательное движеніе и наз. *вѣтряными колесами*; они состоятъ изъ вала, который снабжается крыльями, принимающими дѣйствіе вѣтра. Если назовемъ буквою Q объемъ воздуха, притекающій въ секунду къ крыльямъ вѣтрянаго колеса, и буквою c среднюю скорость вѣтра, то запасъ работы вѣтра, дѣйствующаго на крылья пріемника, можетъ быть выраженъ формулою:

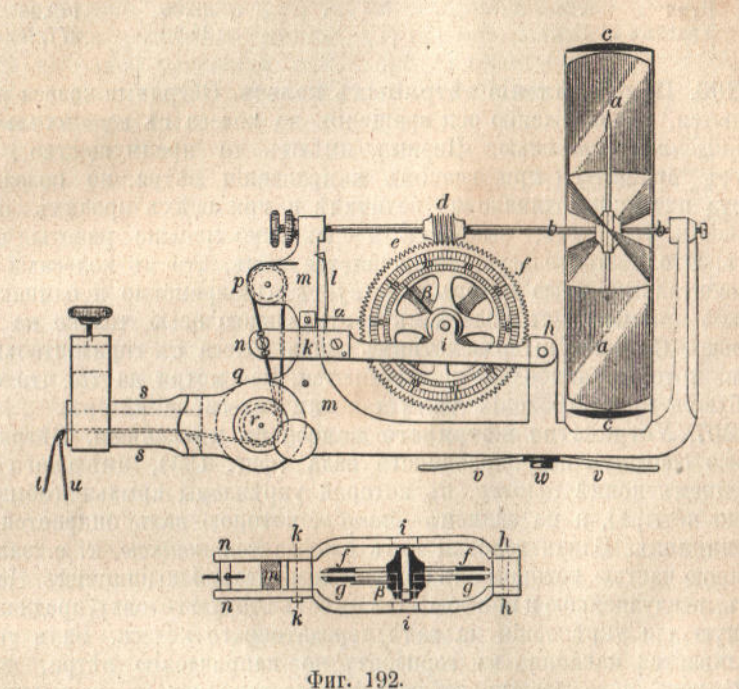
$$T_m = \Delta' \frac{Q}{2g} c^2, \text{ или } T_m = 1{,}25 \frac{Q}{2g} c^2 \ . \ . \ . \ (a)$$

такъ какъ плотность воздуха среднимъ числомъ въ 800 разъ меньше плотности воды.

204. Направленіе и скорость вѣтра; анемометръ Клера. Главный недостатокъ вѣтра, какъ двигателя, составляетъ его измѣняемость какъ въ отношеніи направленія, которое нерѣдко проходитъ въ теченіе однѣхъ сутокъ всѣ румбы, такъ и въ отношеніи скорости. Направленіе вѣтра въ данный моментъ опредѣляется посредствомъ *вѣтроуказателя* (*флюгера*). Для измѣренія скорости служатъ приборы, наз. *анемометрами* (вѣтромѣрами).

На фиг. 192 изображенъ анемометръ *Клера* со счетчикомъ Волластона (§ 57), представляющій видоизмѣненіе вертушки Вольтмана (§ 153). На горизонтальной оси *bb* укрѣплены 6 аллюминіевыхъ

кривыхъ крыльевъ *a*,*a*, вращающихся въ кольцевомъ кожухѣ *cc*. Ось b снабжена червякомъ *d*, сцѣпляющимся одновременно съ 2 зубчатыми колесами *f* и *g*, изъ которыхъ заднее колесо *f* имѣетъ однимъ зубцомъ болѣе, нежели переднее, вслѣдствіе чего периферическій указатель α показываетъ десятки, а центральная стрѣлка β—сотни оборотовъ оси *bb*. Общая ось *i* колесъ установлена въ двойномъ рычагѣ *kh*, имѣющемъ ось вращенія въ *h*. Къ свободному концу *n* рычага прикрѣплены два шнурка *p* и *q*, перекину-



Фиг. 192.

тые черезъ два отдѣльныхъ ролика *r* и служащіе для сцѣпленія и расцѣпленія счетчика съ червякомъ. Лапки *vv*, могущія вращаться около болтика *w*, служатъ для устойчивой установки прибора на плоскости, для чего ихъ надо поставить перпендикулярно къ длинѣ прибора.

Для опредѣленія скорости вѣтра *v* м. въ сек., по числу *n* оборотовъ крыльевъ пользуются формулою: $v = 0{,}056 + 0{,}16n$.

205. *Величина скорости вѣтра* мѣняется въ широкихъ предѣлахъ. Приводимъ таблицу различныхъ скоростей вѣтра и соотвѣтствующихъ давленій на квадратный метръ, составленную на основаніи опытовъ *Борда* и *Смитона*.

	с въ метр.	давленіе на □м. въ klg.
Слабый вѣтеръ	2,00	0,54
Свѣжій	6,00	4,87
Вѣтеръ, наиболѣе удобный для мельницъ. .	7,00	6,64
Очень свѣжій вѣтеръ, удобный для парусныхъ судовъ.	9,00	10,97
Сильный вѣтеръ	15,00	30,47
Очень сильный вѣтеръ.	20,00	54,16
Буря	30,05	122,28
Ураганъ	45,30	277,87

206. Подраздѣленіе вѣтряныхъ колесъ. Вѣтряныя колеса раздѣляются, по положенію оси вращенія, на колеса съ *вертикальною* и *горизонтальною* осью. Первыя имѣютъ то преимущество, что могутъ вращаться при всякомъ направленіи вѣтра, но полезная работа ихъ, при одинаковой величинѣ и при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, выходитъ несравненно меньше работы вторыхъ. Это обстоятельство объясняется тѣмъ, что въ колесахъ съ горизонтальною осью вѣтеръ дѣйствуетъ одновременно и одинаково на всѣ крылья, а въ колесѣ съ вертикальною осью только на нѣсколько. Поэтому мы разсмотримъ лишь колеса съ горизонтальною осью, которыя наиболѣе употребляются, не смотря на то, что они требуютъ приспособленія для установки колеса на вѣтеръ.

207. Устройство вѣтрянаго колеса съ крыльями. Вѣтряное колесо состоитъ изъ деревяннаго вала (фиг. 195), имѣющаго на переднемъ концѣ *головку*, въ которой укрѣплены крылья (обыкновенно четыре), а на заднемъ—*цапфу*, которою валъ опирается на подшипникъ. Близъ головки валъ снабжается *шейкою*, т. е. закругленною частью, которою онъ опирается на второй подшипникъ. Наконецъ, между шейкою и цапфою валъ имѣетъ вторую головку, предназначенную для укрѣпленія на валѣ передаточнаго колеса. Валъ устанавливается наклонно къ горизонту по направленію вѣтра, который, какъ показываютъ наблюденія, составляетъ съ горизонтомъ уголъ отъ 10^{0} до 15^{0}.

Каждое крыло состоитъ изъ *маха* АО (фиг. 193), или деревяннаго прямоугольнаго бруса, длиною отъ 10 до 12 м., укрѣпленнаго перпендикулярно къ валу въ отверстіи, сдѣланномъ въ головкѣ. Если валъ деревянный, то два бруса пропускаютъ сквозь головку и образуютъ изъ нихъ такимъ образомъ четыре маха. Головка стягивается для прочности желѣзными хомутами. Сквозь махъ, начиная съ разстоянія отъ $^1/_6$ до $^1/_7$ длины его, пропускаются въ равномъ разстояніи (около 40 с. м.) одинъ отъ другаго поперечные бруски, или такъ наз. *иглицы* ab..., концы которыхъ связываются продольными (сборными) брусками BD и СЕ, ограничивающими крыло съ боковъ. Обыкновенно махъ проходитъ не по серединѣ

крыла, а разбиваетъ поверхность крыла на двѣ неравныя части, изъ которыхъ меньшая составляетъ отъ $^1/_5$ до $^2/_5$ полной поверхности крыла и обращена въ сторону вѣтра. Узкую часть крыльевъ покрываютъ тонкою досчатою обивкою, а широкую закрываютъ съемными *ставнями* или обтягиваютъ парусиною. Въ послѣднемъ случаѣ между иглицами, махомъ и сборными брусками укрѣпляются продольные и поперечные бруссочки такъ, что ими вся поверхность крыла разбивается на квадратики величиною въ 0,2 кв. м. Крылья дѣлаются *плоскія* или *косыя*. Въ первомъ случаѣ всѣ иглицы лежатъ въ одной плоскости, наклонной къ плоскости вращенія подъ угломъ $\gamma =$ отъ 12^0 до 18^0. Во второмъ— иглицы наклонены къ плоскости вращенія подъ различными углами: ближайшая къ валу иглица наклонена къ ней подъ угломъ 18^0 и затѣмъ, по мѣрѣ удаленія иглицы отъ вала, уголъ этотъ постепенно уменьшается, такъ что для послѣдней онъ равенъ 7^0.

Фиг. 193.

Наконецъ, что касается формы крыла, то, какъ показали опыты *Смитона*, крылья, имѣющія форму трапеціи доставляютъ, при равныхъ размѣрахъ, больше работы, нежели прямоугольныя крылья. Въ послѣднихъ длина иглицъ одинакова и равна разстоянію первой иглицы отъ вала (отъ $^1/_6$ до $^1/_7$ длины маха); въ первыхъ ближайшая къ валу иглица дѣлается равною разстоянію ея отъ вала, а крайняя отъ $^1/_5$ до $^1/_6$ длины маха. Замѣтимъ еще, что, вѣтряное колесо, имѣющее косыя *вогнутыя* крылья, составленныя изъ кривыхъ маховъ и брусковъ, доставляютъ больше полезной работы, нежели колеса, имѣющія крылья съ прямыми махами. Несмотря на то, вогнутыя крылья мало распространены по причинѣ трудности ихъ приготовленія.

208. Чтобы объяснить *необходимость наклоненія крыла къ плоскости вращенія*, замѣтимъ, что если бы оно лежало въ этой плоскости, то вѣтеръ производилъ бы на него давленіе параллельное оси вала, которое стремилось бы лишь сдвигать крыло вмѣстѣ съ валомъ по его направленію. Если же плоское крыло расположено наклонно къ валу, то нормальное давленіе вѣтра на крыло, замѣнится двумя составляющими, изъ которыхъ одна параллельна оси вала и увеличиваетъ лишь треніе въ подшипникѣ, другая же перпендикулярна къ валу и сообщаетъ крылу вращеніе. Не трудно видѣть также, что если бы поверхности каждаго изъ двухъ противоположныхъ крыльевъ были наклонены въ одну сторону, относительно плоскости вращенія, то крылья не вращались бы, такъ какъ давленіе вѣтра стремилось бы вращать ихъ въ противоположныя стороны.

Необходимость *уменьшенія угла наклоненія иглицъ къ плоскости вращенія*, по мѣрѣ удаленія ихъ отъ оси, вытекаетъ изъ слѣ-

дующаго соображенія. Пусть на фиг 193 OO′ будетъ направленіе вѣтра или вала A, ab — элементъ крыла, перпендикулярный къ маху и удаленный отъ оси вала на разстояніе r. Если обсолютную скорость вѣтра означимъ буквою c, а скорость переноснаго движенія (скорость вращенія элемента ab вокругъ оси) буквою v, то относительная скорость вѣтра по отношенію къ элементу ab представится діагональю c′ параллелограмма, построеннаго на c и—v. Но теперь мы можемъ разсматривать условія дѣйствія вѣтра, предполагая элементъ ab неподвижнымъ, а вѣтеръ — дѣйствующимъ не по направленію OO′, а по направленію O′c′, составляющему съ предыдущимъ нѣкоторый уголъ α, тангенсъ котораго равенъ: $\tang\alpha = \frac{v}{c} = \frac{\omega}{c} r$, гдѣ ω есть угловая скорость вала. Изъ этого выраженія видно, что уголъ α возрастаетъ съ разстояніемъ элемента отъ оси вращенія. Понятно, что для того, чтобы всѣ элементы крыла находились въ одинаково выгодныхъ условіяхъ по отношенію къ дѣйствію вѣтра, т. е. чтобы уголъ β былъ одинъ и тотъ же, необходимо уменьшать уголъ наклоненія иглицъ по мѣрѣ удаленія ихъ отъ оси вала.

209. Полезная работа вѣтрянаго колеса. Первые и весьма тщательные опыты относительно полезной работы вѣтряныхъ колесъ съ крыльями были произведены *Смитономъ* (въ 1759 г.) и *Кулономъ* (въ 1781 г.). Средній выводъ изъ наблюденій *Кулона* даетъ для этой работы слѣдующую формулу, довольно близко согласующуюся съ теоретическими выводами:

$$T_u = knFc^3 \text{ к. м., или: } N = \frac{knFc^3}{75} \text{ пар. л.} \quad . \; . \; . \; (68)$$

гдѣ c есть средняя скорость вѣтра, F—площадь крыла, n—число крыльевъ и k—практическій коеффиціентъ, равный 0,015 для крыла прямоугольной формы и 0,026—для трапецоидальнаго крыла.

Формула (68) даетъ достаточно вѣрные результаты только когда скорость на окружности крыльевъ близка къ наивыгоднѣйшей. При опытахъ *Смитона* и *Кулона* оказалось, что когда мельница движется порожнемъ, скорость на окружности крыльевъ въ *четыре* раза больше скорости вѣтра. Для наивыгоднѣйшаго же дѣйствія вѣтрянаго колеса полезное сопротивленіе должно быть регулировано такимъ образомъ, чтобы скорость на окружности крыльевъ составляла $^2/_3$ предыдущей, т. е. $^8/_3$ скорости вѣтра; слѣд., наивыгоднѣйшая скорость v′ на окружности равна: $v' = 2{,}66\ c$.

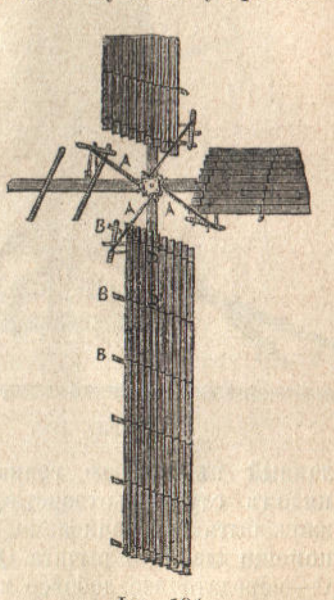
Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія вѣтрянаго пріемника получимъ, раздѣливъ ур. (68) на ур. (a, § 203)

$$\mu = \frac{T_u}{T_m} = \frac{0{,}026 . nFc^3}{1{,}25 \frac{Qc^2}{2g}} = 0{,}40,$$

гдѣ принято: $Q = nFc$.

210. Регулированіе скорости вѣтрянаго колеса. Мы видѣли выше, что наивыгоднѣйшая скорость на окружности крыльевъ равна 2,66 скорости вѣтра. Однако эта скорость не должна превосходить извѣстнаго предѣла, зависящаго отъ скорости исполнительнаго механизма. Наиболѣе употребительное средство регулированія скорости крыльевъ при усиленіи вѣтра состоитъ *въ уменьшеніи поверхности крыла*, вслѣдствіе чего уменьшается давленіе вѣтра, а, слѣд., и скорость крыла. Для этого приводятъ каждое крыло въ самое нижнее положеніе и остановивъ колесо посредствомъ тормоза, *свертываютъ паруса* или *снимаютъ ставни*, поднимаясь по иглицамъ, какъ по лѣстницѣ. Если нужно, въ виду быстро усиливающагося вѣтра остановить мельницу, то крылья обнажаютъ совершенно.

Описанный способъ регулированія сопряженъ съ потерею времени и не вполнѣ безопасенъ. Въ мельницахъ лучшаго устройства употребляется особая система *складныхъ плоскихъ крыльевъ* (*Бертона*) (фиг. 194), составленная изъ продольныхъ планокъ, отчасти перекрывающихъ другъ друга, на подобіе рѣшетчатыхъ ставень жалюзи). Эти планки прикрѣплены посредствомъ скрѣпъ D къ иглицамъ B, B..., которыя могутъ вращаться вокругъ ихъ точекъ закрѣпленія къ махамъ. Самыя скрѣпы D также подвижны вокругъ точекъ ихъ закрѣпленія къ иглицамъ. Изъ этого устройства видно, что для того, чтобы произвести сборку или раздвиганіе планокъ, образующихъ крыло, достаточно повернуть одну изъ иглицъ. Съ этою цѣлью къ концу первой иглицы каждаго крыла прикрѣпляетя на шарнирѣ зубчатая рейка A, сцѣпляющаяся съ шестернею, ось которой проходитъ внутри вала по всей его длинѣ и оканчивается рукояткою. Вращая шестерню заставляетъ продвигаться въ ту или другую сторону змѣйки, а съ ними и всѣ иглицы, причемъ планки болѣе или менѣе перекрываются и такимъ способомъ достигаютъ увеличенія или уменьшенія поверхности крыла, дѣйствуя извнутри мельницы и на ходу.

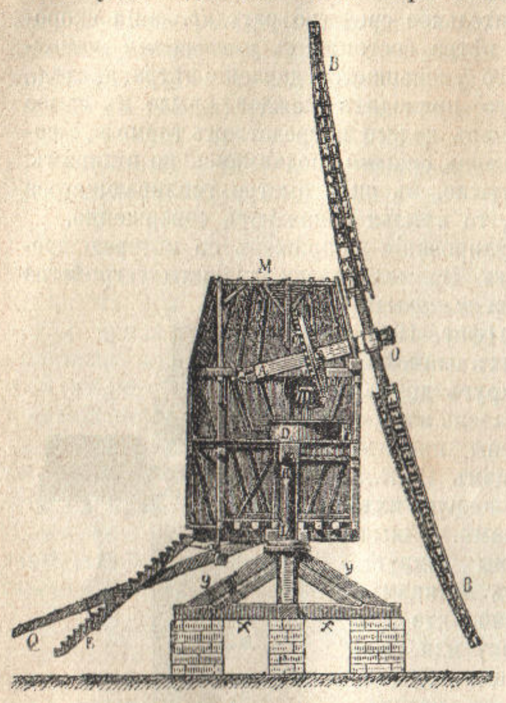


Фиг. 194.

211. Вѣтряныя мельницы [1]. Подъ именемъ *вѣтряныхъ мельницъ* разумѣютъ строеніе, поддерживающее вѣтряное колесо и ис-

[1]) Время и мѣсто изобрѣтенія вѣтряныхъ мельницъ, какъ и водяныхъ колесъ, до сихъ поръ достовѣрно неизвѣстны. Первыя свѣдѣнія объ нихъ

полнительные механизмы, получающіе отъ него движеніе. Такъ какъ при всякой перемѣнѣ направленія вѣтра является необходимость устанавливать валъ пріемника *на вѣтеръ*, то мельницы должны быть удобоподвижны около вертикальной оси. По способу установки на вѣтеръ, мельницы раздѣляются: 1) на *нѣмецкія* или *на козлахъ* и 2) на *голландскія* или *шатровыя.* У первыхъ весь корпусъ вмѣстѣ съ крыльями поворачивается около вертикальнаго столба, а у вторыхъ—только верхняя часть, наз. *шатромъ.*



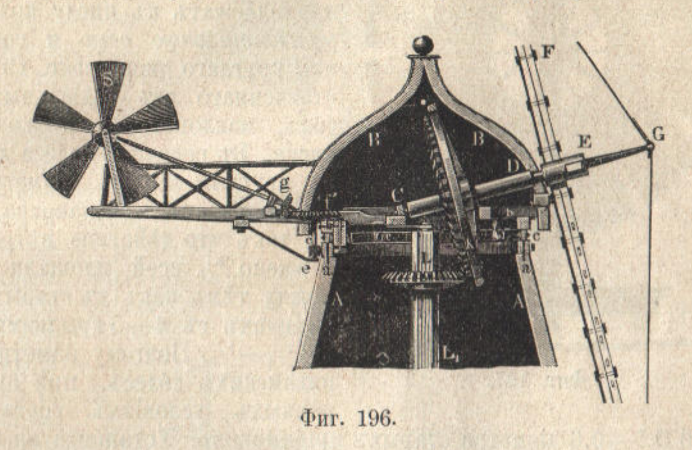
Фиг. 195.

На фиг. 195 представлена обыкновенная мукомольная мельница на козлахъ. Главную часть поворотнаго механизма составляетъ вертикальный *подпорный* столбъ HL, основаніемъ которому служатъ горизонтальныя соединен. въ крестъ брусья X,X, образующія вмѣстѣ съ подкосами Y,Y такъ наз. *козлы.* Верхняя цапфа подпорнаго столба вставлена въ подшипникъ, вдѣланный въ нижнюю грань *головнаго* бруса H; вторымъ подшипникомъ служитъ отверстіе, образуемое балками L. Все зданіе можетъ быть поворачиваемо, для установки вала AB на вѣтеръ, при помощи длиннаго рычага Q. Остальныя части мельницы: B—крылья, C—передаточное лобовое колесо, сцѣпляющееся съ цѣвочною шестерней, D—мельничный поставъ.

На фиг. 196 изображена верхняя часть голландской мельницы. BB есть крыша или *шатеръ,* въ которомъ установленъ валъ CDE; EF — махи косыхъ крыльевъ, стянутыя, для предупрежденія прогиба, струнами GF. Шатеръ B поддерживается деревяннымъ или каменнымъ корпусомъ AA, оканчивающимся сверху вѣнцомъ aa; такой же вѣнецъ bb прикрѣпленъ снизу къ шатру. Между этими

относятся къ 1105 г.; они были найдены въ дипломѣ, выданномъ одному монастырю *во Франціи* на устройство водяныхъ и вѣтряныхъ мельницъ (molendina ad ventum). Голландскія вѣтряныя мельницы стали извѣстны съ 1650 г.

вѣнцами помѣщены, для облегченія вращенія шатра чугунные вертикальные катки c,c.., прикрѣпленные къ вѣнцу bb. Для предупрежденія опрокидыванія и сдвиганія шатра на сторону, верхній вѣнецъ b снабжается второю системою горизонтальныхъ катковъ, которые перекатываются по внутренней поверхности вѣнца a; послѣдняя обтягивается желѣзнымъ обручемъ, имѣющимъ вверху закраину, перекрывающую горизонтальные катки. Поворачиваніе шатра совершается или обыкновеннымъ способомъ, посредствомъ рычага или лебедки, или *автоматически*, при помощи *направляющаго* колеса S. Послѣднее укрѣплено на оси, перпендикулярной къ валу

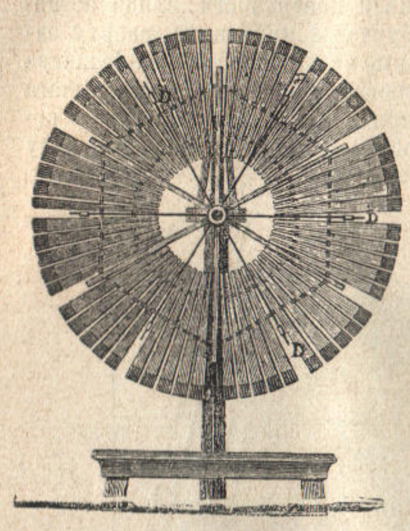


Фиг. 196.

пріемника и вращается только тогда, когда главный валъ не направленъ по вѣтру. Вращеніе колеса S сообщается колесу g, отъ котораго при посредствѣ колеса f передается шестернѣ e; послѣдняя сцѣпляется съ зубчатымъ вѣнцемъ, прикрѣпленнымъ снаружи къ вѣнцу a, и такимъ образомъ поворачиваетъ шатеръ до тѣхъ поръ, пока главный валъ не станетъ по вѣтру. Въ этой мельницѣ вертикальный валъ LL передаточнаго механизма долженъ совпадать при всѣхъ положеніяхъ крыльевъ съ геометрическою осью шатра, чтобы не нарушалось сцѣпленіе колесъ.

212. Американскія вѣтряныя колеса. Главный недостатокъ описанныхъ выше вѣтряныхъ пріемниковъ съ крыльями заключается въ малой площади, которую они могутъ представить напору вѣтра. Это обстоятельство влечетъ за собою, при относительно небольшомъ увеличеніи силы пріемника, значительное увеличеніе его размѣровъ, стоимости и вѣса. Вслѣдствіе тяжелой конструкціи старые пріемники поглощаютъ большую часть работы на треніе и не могутъ работать при скорости вѣтра $<$ 4 м. Появившіяся не такъ давно *американскія* или *дисковыя* вѣтряныя колеса, не имѣя этихъ недостатковъ, представляютъ много другихъ преимуществъ передъ ста-

рыми пріемниками: они могутъ работать *почти при всякомъ вѣтрѣ*, отличаются весьма *правильнымъ ходомъ* и, благодаря легкой конструкціи, допускаютъ *легкую и надежную установку*. Поэтому въ настоящее время они все болѣе вытѣсняютъ голландскія мельницы, несмотря на всѣ улучшенія, сдѣланныя въ послѣднихъ въ новѣйшее время (автоматическая установка на вѣтеръ, автоматическое регулированіе скорости вѣтра).



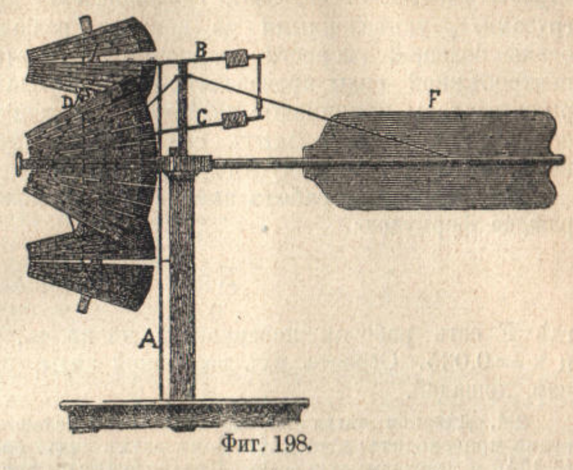
Фиг. 197.

Американскія вѣтряныя колеса принадлежатъ къ числу колесъ *съ горизонтальною осью* и состоятъ изъ круглаго диска (фиг. 197), составленнаго изъ радіальныхъ досокъ, наклонныхъ къ плоскости диска. Въ серединѣ колеса дѣлается круглый вырѣзъ, діаметръ котораго равенъ $^1/_3$ діаметра колеса, такъ что дѣйствію вѣтра подвержено $^8/_9$ всей площади диска, между тѣмъ какъ въ старыхъ пріемникахъ съ 4—5 крыльями только $^1/_4$—$^1/_3$. Поэтому діаметръ американскихъ колесъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, составляетъ около 0,5—0,6 діаметра старыхъ пріемниковъ. Установка на вѣтеръ дисковыхъ колесъ производится автоматически при помощи большаго флюгера, прикрѣпленнаго къ заднему концу вала и расположеннаго вертикально, т. е. въ плоскости, перпендикулярной къ диску.

Всѣ американскія вѣтряныя колеса строятся *съ автоматическимъ регулированіемъ* рабочей поверхности. Въ этомъ отношеніи дисковыя колеса можно раздѣлить на два класса: *на колеса съ неизмѣннымъ дискомъ* и *на колеса со складнымъ дискомъ*. Въ колесахъ съ неизмѣннымъ дискомъ (системы *Эклипсъ*) регулированіе производится посредствомъ втораго флюгера небольшихъ размѣровъ, установленнаго перпендикулярно къ первому и, слѣд., параллельно диску. Вѣтеръ, усилившись, повернетъ нѣсколько второй флюгеръ вмѣстѣ съ колесомъ, которое станетъ наклонно къ вѣтру; вслѣдствіе этого уменьшится рабочая поверхность и угловая скорость удержится въ извѣстныхъ предѣлахъ. Этотъ способъ регулированія не дѣйствителенъ, когда, *при постоянномъ вѣтрѣ, уменьшается или совсѣмъ прекращается дѣйствіе полезнаго сопротивленія*.

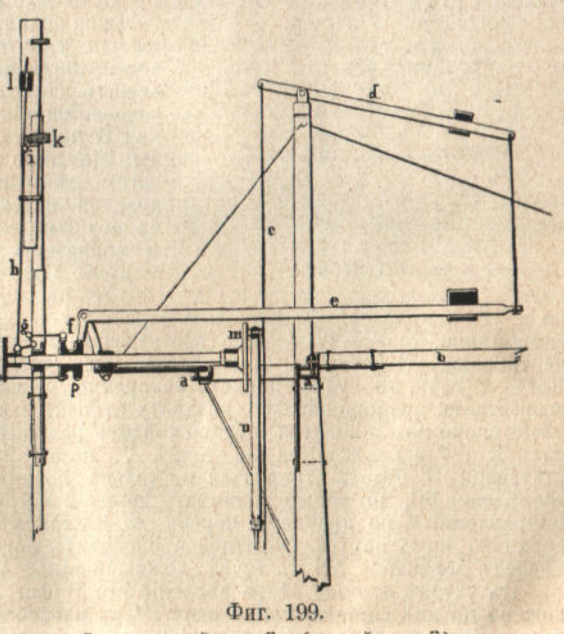
Колеса *со складнымъ дискомъ*, изобрѣтенныя амер. заводчикомъ *Галладеемъ*, представляютъ самый совершенный изъ американскихъ

вѣтряныхъ пріемниковъ. Въ колесахъ Галладея (фиг. 197) дискъ состоитъ изъ шести секторовъ, могущихъ вращаться около осей, лежащихъ въ плоскости колеса и укрѣпленныхъ къ ручкамъ его. Слѣдствіемъ этого вращен. является свертываніе секторовъ диска, на подобіе зонта, въ положеніе, представленное на фиг. 198, при которомъ дощечки параллельны флюгеру F, а, слѣд., и вѣтру: движеніе колеса прекращается.



Фиг. 198.

Свертываніе диска можетъ быть произведено отъ руки передвиженіемъ внизъ штанги или цѣпи c (фиг. 199), соединенной, при помощи рычаговъ d и e, вилки f съ муфтою p и колѣнчатаго рычага g, съ радіальными тягами h, которыя въ свою очередь сочленены посредствомъ коротенькихъ рычаговъ i съ осями секторовъ. Если вѣтеръ силенъ, то подъ его давленіемъ секторы стремятся занять положеніе фиг. 198, причемъ они должны преодолѣть сопротивленіе передвижнаго груза, помѣщен. на рычагѣ e. Надлежащею установкою этого груза можно достигнуть того, что дискъ



Фиг. 199.

будетъ свертываться вполнѣ при извѣстной (предѣльной) скорости

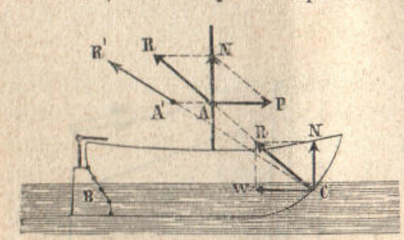
вѣтра или же отчасти, если скорость вѣтра немного превышаетъ нормальную. *Регулированіе при постоянной скорости вѣтра въ случаѣ уменьшенія полезнаго сопротивленія* производится особыми грузами l, укрѣпленными на концахъ радіальныхъ тягъ h. При очень большой скорости вращенія колеса эти грузы дѣйствіемъ центробѣжной силы производятъ такого рода давленія, при которыхъ секторы принимаютъ наклонное положеніе къ вѣтру и такимъ образомъ противуставляютъ его давленію меньшую рабочую поверхность (въ видѣ конуса).

213. Полезная работа американскихъ колесъ можетъ быть выражена формулою:

$$N = \frac{kFc^3}{75} \text{ пар. л. } \dots\dots\dots (69)$$

гдѣ F есть рабочая поверхность въ кв. м., c — скорость вѣтра и k = 0,035. Строятъ ихъ различной силы: отъ $^1/_3$ до 20 и болѣе пар. лошадей.

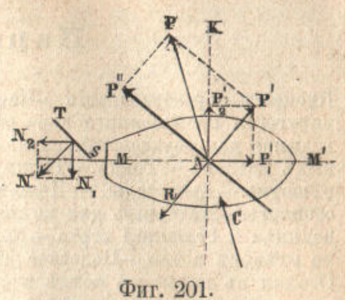
214. Дѣйствіе вѣтра на паруса. Поступательное движеніе паруснаго судна происходитъ подъ дѣйствіемъ двухъ силъ: *давленія вѣтра на паруса* (§ 154) и *сопротивленія воды*. Предположимъ, для простоты, что судно имѣетъ только одинъ вертикальный парусъ, который будемъ разсматривать какъ плоскій. Пусть направленіе вѣтра совпадаетъ съ направленіемъ движенія судна. Полное сопротивленіе R воды разложимъ на двѣ составляющія, изъ которыхъ вертикальная N (фиг. 200) будетъ производить небольшое поднятіе передней части судна или уничтожать наклоненіе этой части, когда ц. тяжести всего судна лежитъ нѣсколько впереди ц. тяжести водоизмѣщенія (§ 124), а горизонтальная W представитъ сопротивленіе воды. Давленіе вѣтра P на парусъ лежитъ въ одной вертикальной продольной плоскости симметріи судна съ полнымъ сопротивленіемъ воды R и приложена въ центрѣ тяжести A паруса. Предположимъ, что точка A лежитъ на вертикали ц. тяжести судна и что направленіе R проходитъ черезъ эту точку. Если движеніе судна равномѣрно, то P = W и равнодѣйствующая N силъ R и P совпадетъ съ вертикалью AN и будетъ производить лишь небольшое поднятіе судна. Когда P > W, то судно пойдетъ ускоренно, но какъ сопротивленіе воды возрастаетъ пропорціонально квадрату относительной скорости, то равновѣсіе скоро возстановится и судно пойдетъ равномѣрно. Если направленія силъ R и P пересѣкаются въ точкѣ A′, позади A, то новая равнодѣйствующая N′ будетъ стремиться не только поднимать судно параллельно *ватерлиніи* BC, но также поднимать корму и погружать носъ судна, пока направленіе R не пройдетъ черезъ A. Въ такомъ случаѣ лучше убрать верхнюю часть паруса. Обратное происходитъ, когда направленіе R пересѣкаетъ вертикаль AN въ точкѣ, лежащей выше A.



Фиг. 200.

Въ случаѣ *боковаго* вѣтра давленіе его P (фиг. 201) можетъ быть разложено на двѣ составляющія: одну P″ въ плоскости паруса и другую P′, нормальную къ парусу. Послѣдняя вызоветъ со стороны воды сопротивле-

ніе R, равное и прямотивоположное. Сила P' въ свою очередь можетъ быть разложена на двѣ: одну P_1' по направленію MM', другую P_2' по AK. Послѣдняя сообщаетъ судну по направленію AK лишь весьма незначительную скорость, ибо уже при малой скорости сопротивленіе воды по этому направленію, вслѣдствіе большой величины діаметральной площади MM' судна по сравненію съ *миделевымъ* сѣченіемъ (главное попоречное сѣченіе), достигаетъ величины, равной силѣ P_2' По обратной причинѣ составляющая P_1' сообщитъ судну по прямому направленію значительную скорость. Какъ видно изъ чертежа, судно можетъ идти по направленію MM', почти *противоположному вѣтру*. Легко видѣть также, что оріентируя судно относительно вѣтра по направленію, симметричному съ предыдущимъ (*лавированіе*), можно достигнуть пристани, лежащей въ направленіи, совершенно противоположномъ вѣтру.



Фиг. 201.

Руль ST служитъ для управленія судномъ. Онъ представляетъ плоскую поверхность и подвѣшивается къ кормѣ на шарнирахъ. Для поворачиванія руля служитъ *румпель* (длинный горизонтальный рычагъ) или же вертикальное колесо, снабженное на окружности рукоятками и передающее движенію рулю посредствомъ цѣпи. Когда руль находится въ своемъ среднемъ положеніи—онъ не дѣйствуетъ. Но если повернуть руль къ лѣвому или правому борту, то и судно повернется въ ту же сторону. Дѣйствительно, давленіе N на руль, являющееся отъ сопротивленія воды, можетъ быть разложено на двѣ составляющія: N_2 — по направленію движенія, и N_1 — перпендикулярно къ нему. Первая увеличитъ сопротивленіе движенію, вторая повернетъ судно около вертикальной оси, проходящей черезъ ц. тяжести, справа налѣво.

Если напоромъ вѣтра или по какой либо другой причинѣ судно будетъ выведено изъ своего положенія равновѣсія, то оно получаетъ качающееся движеніе. Такое качающееся движеніе состоитъ или изъ колебаній около продольной оси, параллельной килю [1] (*боковая качка*), или изъ качанія его около горизонтальной оси, перпендикулярной къ килю (*килевая качка*), или, наконецъ, изъ качаній около вертикальной оси (*извилистость*).

Что касается величины площади парусовъ, то она разсчитывается по условію наибольшей возможной скорости судна. Такъ какъ давленіе вѣтра пропорціонально площади F парусовъ, а сопротивленіе воды пропорціонально площади S миделеваго сѣченія, то скорость судна очевидно будетъ нѣкоторая функція отношенія $\frac{F}{S}$. Для обыкновенныхъ торговыхъ кораблей это отношеніе дѣлается отъ 27 до 30; а для быстроходныхъ судовъ (клиперовъ) оно доходитъ до 42.

ЗАДАЧИ.

86. Вѣтряное колесо о 4 крыльяхъ (трапецоидальной формы) дѣлаетъ при порожнемъ ходѣ 30 оборотовъ въ минуту; длина маха 12 м., поверхность крыла = 20 кв. м. Опредѣлить: 1) полезную работу (въ пар. л.) и 2) число оборотовъ колеса (при условіи наивыгоднѣйшаго дѣйствія).

87. Опредѣлить діаметръ американскаго вѣтрянаго колеса по слѣдующимъ даннымъ: N = 10 пар. л.; скорость вѣтра c = 7 м.

---

[1]) *Килемъ* называется толстый брусъ, идущій вдоль средней линіи судна и служащій для укрѣпленія реберъ или *шпангоутовъ*.

ГЛАВА X.

Паровые котлы.

Процессъ парообразованія.—Насыщенный и перегрѣтый паръ.— Зависимость упругости насыщеннаго пара отъ температуры.—Количество теплоты, необходимое для образованія пара.—Общій составъ пароваго котла.— Печи паровыхъ котловъ —Топка.— Топка Тенбринка.—Форсунка Ленца.—Колосниковая рѣшотка.—Дымоходы. — Дымовая труба. —Топливо и его теплотворная способность.—Матеріалъ для котловъ.—Форма котловъ. — Поверхность нагрѣва, водяная и огненная черта.—Водяное и паровое пространства котла.—Толщина стѣнокъ котла.—Полезное дѣйствіе паровыхъ котловъ; расходъ топлива.— Осадки въ паровомъ котлѣ и средства противъ нихъ.—Подраздѣленіе паровыхъ котловъ. — Простой цилиндрическій котелъ. — Котелъ съ кипятильниками.—Котелъ съ нагрѣвательными трубами. — Корнваллійскій и ланкаширскій котлы.—Котелъ Галловэя.—Трубчатые котлы.—Локомотивный котелъ.— Пароходный котелъ.—Котелъ Фильда.—Котлы Белльвиля и Рута.—Причины взрывовъ котловъ. — Проба котловъ. — Арматура котловъ: пробные краны. водомѣрное стекло, сигнальный поплавокъ, манометры, предохранительный клапанъ, питательный насосъ, инжекторы.—Подогрѣватель.—Паровой куполъ, лазъ и люки; паропроводныя трубы. — Створный и поворотный клапаны. — Водоспускной кранъ.—Уходъ за котломъ.—Задачи.

215. Процессъ парообразованія. Паровой котелъ есть герметически закрытый металлическій сосудъ, служащій для образованія пара надлежащей упругости, при посредствѣ котораго производится въ паровыхъ машинахъ преобразованіе теплоты въ механическую работы.

При нагрѣваніи воды въ котлѣ теплота *(явная)* расходуется въ началѣ *на повышеніе ея температуры*, т. е. на увеличеніе невидимой живой силы молекулярнаго движенія. Съ того момента какъ температура воды достигнетъ 100°C. начинается *кипѣніе воды*— образованіе пара, пузырьки котораго, выдѣляясь во всей массѣ воды, приводятъ ее въ бурное движеніе: теплота (*скрытая*) расходуется на разъединеніе молекулъ (на внутреннюю работу); она содержится въ парѣ въ видѣ потенціальной энергіи разъединенныхъ молекулъ, которая при охлажденіи пара (*конденсаціи*) вновь преобразуется въ явную теплоту.

Какъ и всѣ газы, водяной паръ производитъ *давленіе* на стѣнки сосуда (котла), въ которомъ онъ заключается; это давленіе, какъ извѣстно, обусловливается стремленіемъ пара занять по возможности большій объемъ, вслѣдствіе чего частицы его производятъ удары на стѣнки котла, служащіе дѣйствительной причиною *давленія* или *упругости* пара. Такъ какъ въ началѣ парообразованія паръ долженъ преодолѣвать лишь сопротивленіе воздуха, заключающагося въ котлѣ, то его упругость равна *одной атмосферѣ* (1 klg. на кв. сант.), чему соотвѣтствуетъ температура воды 100°C.

Опытъ показываетъ, что до тѣхъ поръ, пока паровое пространство котла не наполнится наибольшимъ возможнымъ количествомъ пара (пока не *насытится* паромъ), температура воды и пара будетъ равна 100°С., а давленіе пара=1 атм., но съ момента насыщенія температура воды непрерывно увеличивается, вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается *плотность* пара въ паровомъ пространствѣ (а, слѣд., и вѣсъ ед. его объема) и его *упругость*, но послѣдняя возрастаетъ гораздо быстрѣе температуры.

216. Насыщенный и перегрѣтый паръ. Водяной паръ бываетъ *насыщенный* и *перегрѣтый. Насыщеннымъ* наз. паръ, находящійся въ постоянномъ прикосновеніи съ водою, изъ которой онъ образовался, а *перегрѣтымъ*—паръ, отдѣленный отъ воды.

Давленіе (упругость) насыщеннаго пара *зависитъ только отъ температуры его*, но не зависитъ отъ величины объема, имъ занимаемаго. Если увеличить этотъ объемъ, то изъ воды образуется новое количество пара той же упругости; если же уменьшить, то часть пара обратится снова въ воду, *но упругость его останется таже*, если только температура въ обоихъ случаяхъ не измѣняется.

Положимъ теперь, что мы впустили въ цилиндръ 1 литръ насыщеннаго пара и заставляемъ его расширяться при тѣхъ же условіяхъ, какъ и прежде, т. е. при постоянной температурѣ. Опытъ показываетъ что съ увеличеніемъ объема *давленіе такого пара*, отдѣленнаго отъ воды, *будетъ уменьшаться*, слѣдуя закону *Бойля-Маріотта*: $pv=p_1v_1=\text{Const.}$, т. е. *давленія* (при постоянной температурѣ) *будутъ измѣняться обратнопропорціонально объемамъ.* Это ненасыщенный или *перегрѣтый* паръ. Перегрѣтымъ онъ наз. потому, что *при одинаковой упругости съ насыщеннымъ паромъ онъ имѣетъ болѣе высокую температуру.* Напр., если впустимъ въ цилиндръ литръ (1 литръ = 1 куб. дец.) насыщеннаго пара упругостью въ 5 атм. (слѣд., температурою въ 152,22°С) и заставимъ его расшириться (сохраняя температуру цилиндра 152°,22) вдвое, то упругость уменьшится вдвое, т. е. будетъ 2,5 атм. при температурѣ 152,22°, между тѣмъ какъ насыщенный паръ достигаетъ этой упругости уже при 127,8°С. Если затѣмъ впустимъ въ цилиндръ немного воды (сохраняя температуру цилиндра 152°,22), то вновь образуется столько пара, что давленіе снова сдѣлается= 5 атм.; слѣд.. это былъ паръ, ненасыщающій пространство.

При одинаковой температурѣ съ перегрѣтымъ паромъ *насыщенный паръ имѣетъ всегда большую упругость.*

217. Зависимость упругости насыщеннаго пара отъ температуры. Изслѣдованіе свойствъ насыщеннаго пара представляетъ особый интересъ, потому что въ настоящее время въ паровыхъ машинахъ употребляется почти исключительно такой паръ. Какъ было сказано выше, давленіе насыщеннаго пара зависитъ только отъ температуры, но математическая формула, выражающая строго законъ

этой зависимости, до сихъ поръ неизвѣстна. *Реньо*, помощью весьма точныхъ опытовъ, провѣренныхъ и подтвержденныхъ *Магнусомъ* составилъ таблицу упругостей, которую приводимъ въ сокращеніи.

Упругость насыщеннаго пара. въ атмосферахъ.	Упругость насыщеннаго пара. въ килогр. на кв. метръ.	Температура по Цельсію.	Вѣсъ 1 куб. метра въ klg.	Упругость насыщеннаго пара. въ атмосферахъ.	Упругость насыщеннаго пара. въ килогр на кв. метръ.	Температура по Цельсію.	Вѣсъ 1 куб. метра въ klg.
0,1	1033,4	46,21	0,0687	5	51670,0	152,22	2,7500
0,2	2066,8	60,45	0,1326	5,5	56837,0	155,85	3,0073
0,5	5167,0	81,71	0,3153	6	62004,0	159,22	3,2632
1	10334,0	100,00	0,6059	7	72338,0	165,34	3,7711
1,5	15501,0	111,74	0,8874	8	82672,0	170,81	4,2745
2	20668,0	120,60	1,1631	9	93006,0	175,77	4,7741
2,5	25835,0	127,80	1,4345	10	103340,0	180,31	5,2704
3	31002,0	133,91	1,7024	11	113674,0	184,50	5,7636
3,5	36169,0	139,24	1,9676	12	124008,0	188,41	6,2543
4	41336,0	144,00	2,2303	13	134342,0	192,08	6,7424
4,5	46503,0	148,29	2,4911	14	144676,0	195,53	7,2283

218. Количество теплоты, необходимое для образованія пара. Количество теплоты, необходимое для обращенія одного килограмма воды при температурѣ 0° въ насыщенный паръ температуры t можетъ быть выражено, согласно опытамъ *Реньо*, слѣдующею формулою:

$$Q = 606,5 + 0,305t. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (70).$$

Это количество теплоты состоитъ изъ двухъ частей: изъ части q, затрачиваемой на нагрѣваніе воды отъ 0° до t и равной ct, гдѣ $c=1$ есть *теплоемкость воды*, и части Q_0, затрачиваемой на обращеніе воды, имѣющей температуру t, въ насыщенный паръ той же температуры. Это есть *скрытая теплота парообразованія*, существующая въ видѣ потенціальной энергіи молекулярнаго раздѣленія. Такимъ образомъ: $Q = q + Q_0$, откуда $Q_0 = Q - q$, или $Q_0 = 606,5 + 0,305\ t - t$, или: $Q_0 = 606,5 - 0,695\ t$, откуда видно, что скрытая теплота парообразованія уменьшается съ увеличеніемъ температуры.

Въ слѣдующей таблицѣ вычислены количества теплоты, необходимой для образованія изъ воды при 0° 1 klg. пара упругостью:

1 атм.;	2;	3;	4;	5;	6;	7;	8;	9;	10;
637,0 к.;	643,3;	647,3;	650,4;	652,9;	655,0;	656,9;	658,5;	660,0;	661,5.

Изъ этой таблицы видно, что количества теплоты, потребныя для образованія 1 klg. пара различной упругости почти одинаковы; но совершенно иное заключеніе должно сдѣлать, если относить количество теплоты къ единицѣ объема: чѣмъ выше упругость пара,

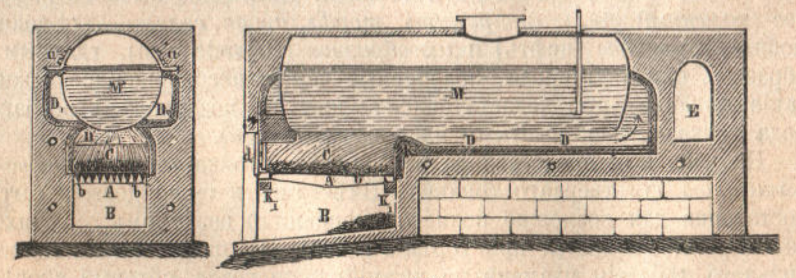
тѣмъ больше количество теплоты, необходимое для образованія 1 куб. метра пара, ибо съ увеличеніемъ упругости значительно увеличивается вѣсъ куб. единицы пара.

219. Общій составъ пароваго котла. Во всякомъ паровомъ котлѣ различаютъ слѣдующія три части: 1) *печь для котла*, 2) *собственно котелъ*, т. е. аппаратъ, имѣющій назначеніе доставлять въ теченіе опредѣленнаго времени требуемое количество пара данной упругости, 3) *арматура* или *принадлежности котла*, т. е. приборы, необходимые для наблюденія за правильнымъ дѣйствіемъ котла и для питанія его: приборы для указанія уровня воды въ котлѣ, упругости пара, питательные приборы и т. п.

A. Печи паровыхъ котловъ.

220. Части печи. Устройство печи для котла, размѣры ея частей имѣютъ для экономическаго употребленія топлива и для правильнаго хода парообразованія не меньшее значеніе, чѣмъ устройство самого котла.

Печь состоитъ изъ слѣдующихъ частей: *топки*, *дымовыхъ ходовъ* и *дымовой трубы*. *Топкою* или *очагомъ* наз. камера, устраиваемая подъ переднею частью котла и назначаемая для сожиганія топлива. Она заключаетъ въ себѣ: 1) *рѣшетку* A (фиг. 202), на которую кладется горючій матеріалъ. Рѣшетка состоитъ изъ ряда чугунныхъ брусковъ b, b...., наз. *колосниками* и уложенныхъ другъ около друга на чугунныя же полосы k_1; 2) *зольникъ* или *поддувало* B,



Фиг. 202.

т. е. нижнюю часть топки, расположенную подъ рѣшеткою. Черезъ поддувало проходитъ воздухъ, необходимый для горѣнія топлива, и въ немъ же скопляется зола и шлаки, падающіе черезъ отверстія рѣшетки. Иногда устраиваютъ у зольника дверцы, которыя закрываются на время остановки котла, съ цѣлью предупрежденія тока холоднаго воздуха (даже при закрытой заслонкѣ) и охлажденія котла во время остановки; 3) *топочное пространство*, *огневую ка-*

меру или *горнъ* C, находящійся надъ рѣшеткою и закрытый герметически *дверцами* d, черезъ которыя забрасывается топливо на рѣшетку.

Дымоходы D, D_1, D_2... служатъ для отвода въ дымовую трубу продуктовъ горѣнія, которые, соприкасаясь со стѣнками котла, отдаютъ имъ тѣмъ большую часть теплоты, чѣмъ длиннѣе дымовые обороты, но при вступленіи въ трубу должны имѣть опредѣленную температуру, соотвѣтствующую хорошей *тягѣ* воздуха, отъ которой зависитъ ходъ печи. Продукты горѣнія, образующіеся въ топкѣ C, проходятъ сначала по первому дымоходу D, идущему подъ котломъ; изъ него поступаютъ въ лѣвый каналъ D_1, изъ котораго обогнувъ переднее днище, поступаютъ въ послѣдній (правый) дымоходъ D_2. Передъ 1-мъ дымоходомъ за рѣшеткою долженъ быть устроенъ невысокій *порогъ* (K), служащій для достиженія возможно полнаго *смѣшенія горючихъ газовъ* съ притекающимъ воздухомъ. Послѣдній дымоходъ соединяется съ трубою особымъ каналомъ E, наз. *боровомъ;* въ немъ помѣщается обыкновенно *заслонка* или *регистръ*, служащій для управленія тягою

Печь кладется изъ обыкновеннаго кирпича на глинѣ, а внутренняя облицовка топки и дымовыхъ ходовъ дѣлается изъ огнепостояннаго кирпича и на огнеупорной же глинѣ. Весьма нерѣдко въ стѣнкахъ печи дѣлаются пустоты, служащія для *игры* печи, т. е. для свободнаго расширенія во время нагрѣва. Наконецъ, вся печь стягивается продольными и поперечными тягами, увеличивающими ея прочность.

221. Топка. Устройство и размѣры топки зависятъ отъ рода и количества сожигаемаго въ ней топлива. Послѣднее бываетъ *твердое (каменный уголь, антрацитъ, торфъ, дрова, солома*—для локомобилей), *жидкое* (нефть) и *газообразное* (горючіе газы, главнымъ образомъ окись углерода, получаемые черезъ несовершенное сожиганіе топлива—при недостаточномъ доступѣ воздуха—въ особаго рода топкахъ, наз. *газовыми* или *генераторами*).

На фиг. 202 представлена обыкновенная топка *съ колосниковою рѣшеткою* для твердаго топлива. Вмѣстимость *горна* должна быть достаточна для возможно полнаго смѣшенія съ воздухомъ горючихъ газовъ, выдѣляющихся при горѣніи топлива. Во избѣжаніе слишкомъ сильнаго дѣйствія пламени на нижній листъ котла, который скорѣе всего подвергается прогоранію, высота горна надъ рѣшоткою дѣлается: *для дровъ* отъ 0,5 до 0,6 м., а для *каменнаго угля* отъ 0,4 до 0,5 м.

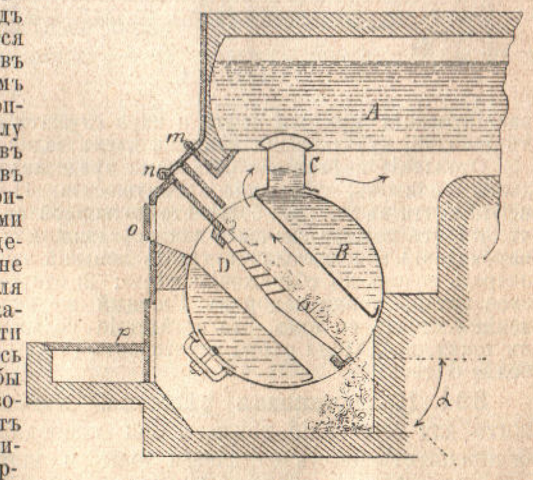
Порогъ, устраиваемый (изъ огнеупорнаго кирпича) при самомъ началѣ дымохода для наилучшаго смѣшенія горючихъ газовъ съ кислородомъ воздуха, отстоитъ на 20—30 см. отъ котла. Такъ какъ надъ порогомъ концентрируется самый сильный жаръ, то надъ нимъ не должно быть заклепочнаго шва, во избѣжаніе бы-

страго перегоранія заклепочныхъ головокъ и края листа, слѣдствіемъ чего явится течь.

Топочныя дверцы дѣлаются чаще всего изъ чугуна—двойныя, для предупрежденія накаливанія наружныхъ створокъ, внутренняя пластинка прикрѣпляется къ наружнымъ дверцамъ посредствомъ заклепокъ, вставленныхъ въ *распорныя трубки* длиною въ 2″. Дверцы дѣлаются *одностворчатыя* или *двустворчатыя* и подвѣшиваются на петляхъ къ *чугунной рамѣ* (фиг. 213), которая прикрѣпляется болтами къ передней стѣнкѣ печи. Дверцы должны *герметически* закрывать отверстіе, во избѣжаніе тока холоднаго воздуха, вредно вліяющаго на котелъ; съ этою цѣлью соприкасающіяся части должны быть тщательно пристроганы. Во время питанія топки дверцы должны быть открыты лишь на самое короткое время, необходимое для подбрасыванія топлива.

Зольникъ дѣлается обыкновенно *открытымъ*, но нерѣдко снабжается также *дверцами*, служащими для регулированія тяги, а главное для сохраненія тепла въ печи во время остановки котла на ночь. Глубина зольника дѣлается отъ 0,8 до 1 м., во избѣжаніе скораго накопленія золы и шлаковъ, слѣдствіемъ котораго является ослабленіе тяги и накаливаніе колосниковъ, дѣйствіемъ жара, исходящаго отъ накопившихся шлаковъ и золы.

222. Топка Тенбринка фиг. 203. Эта топка принадлежитъ къ числу *полугазовыхъ* топокъ, сожигающихъ топливо наиболѣе экономически и почти безъ дыма. Колосниковая рѣшетка *a*, наклонная подъ угломъ 45°—50°, помѣщается въ трубѣ D, заключенной въ желѣзномъ горизонтальномъ цилиндрѣ B, который приклепанъ къ главному котлу A помощью двухъ рукавовъ C. Колосники снабжены въ верхней части своей горизонтальными ступенчатыми ребрами, для предупрежденія потери мелкаго еще не сгорѣвшаго угля, а также для ограниченія притока свѣжаго воздуха въ верхней части рѣшетки. Порогомъ здѣсь служитъ верхній край трубы D; дѣятельная циркуляція воды предохраняетъ его отъ прогоранія. Нагрузка топлива производится черезъ дверцы n. Зольниковыя дверцы p бываютъ открыты только во время выгребанія золы. Тяга регулируется заслонкою O. Наконецъ клапанъ m, вращающійся около горизонтальной оси и устанавливаемый при помощи подъемнаго винта, служитъ для регулированія впуска свѣжаго воздуха надъ порогомъ, для окончательнаго сожиганія горючихъ газовъ. Его



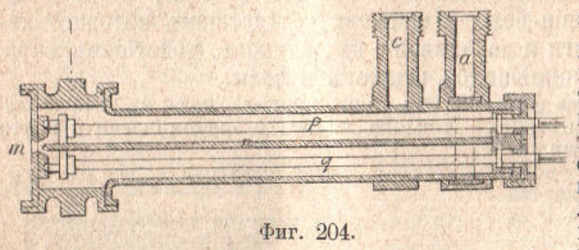
Фиг. 203.

поднимаютъ при помощи *установочнаго винта* до тѣхъ поръ, пока изъ дымовой трубы не прекратится отдѣленіе густаго дыма. Струя воздуха, притекающая черезъ отверствіе m, направляется какъ разъ на встрѣчу горючимъ газамъ, поднимающимся съ рѣшетки, вслѣдствіе чего происходитъ ихъ тѣсное смѣшеніе съ кислородомъ воздуха и полное сгораніе.

Топка Тенбринка была вначалѣ предложена для локомотивовъ, но въ настоящее время, благодаря значительной экономіи топлива, доставляемой ею (1 klg. каменнаго угля испаряетъ на ней до 9 klg. воды), она устраивается очень часто и при постоянныхъ котлахъ. Недостатокъ ея заключается въ томъ, что колосники прогораютъ значительно быстрѣе нежели въ обыкновенной топкѣ, вслѣдствіе высокой температуры, развивающейся въ ней (до 1500° С).

223. Форсунка Ленца. Отопленіе паровыхъ котловъ нефтяными остатками получило начало въ Америкѣ. До 1866 г. способы сожиганія нефти отличались крайнимъ несовершенствомъ. Въ этомъ году былъ впервые примѣненъ америк. *Эйдономъ* способъ *пульверизаціи* нефти. Въ 1872 г. *Ленцъ*, слесарь въ Баку, построилъ пульверизаторъ или *форсунку*, которая съ успѣхомъ дѣйствуетъ у насъ на всемъ Каспійскомъ морѣ и на Волгѣ.

Принципъ форсунокъ (маленькихъ пароструйныхъ насосовъ) состоитъ въ томъ, что струя пара, всосавъ нефть, разбиваетъ ее на мельчайшія брызги, которыя сгораютъ въ топкѣ безъ всякаго остатка. Форсунка Ленца (фиг. 204) состоитъ изъ чугуннаго цилиндра, раздѣленнаго продольною перегородкою n на двѣ части; въ верхней текутъ нефтяныя остатки (поступающіе по трубѣ c), въ нижней— паръ, поступающій по трубѣ a. Въ выходномъ отверстіи m обѣ струи пересѣкаются подъ угломъ, при чемъ струя нефти разбивается на мельчайш. брызги. Для регулированія притока нефти и пара служатъ двѣ заслонки, приводимыя въ движеніе кулачковыми концами двухъ валиковъ p и q.

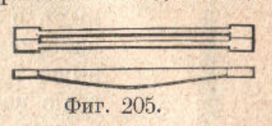


Фиг. 204.

Отопленіе нефтяными остатками представляетъ, сравнительно съ твердымъ топливомъ, слѣдующія преимущества: 1) теплотворная способность нефти почти въ два раза больше теплотворной способности каменнаго угля, что имѣетъ важное значеніе для передвижныхъ машинъ (въ особенности пароходовъ), ибо позволяетъ дѣлать меньшій запасъ топлива, а это въ свою очередь ведетъ къ сбереженію мѣста; 2) отсутствіе золы; 3) автоматическое питаніе топки напоромъ. Главный же недостатокъ нефтяного отопленія состоитъ въ томъ, что вслѣдствіе большаго жара, развивающагося въ топкѣ, послѣдняя скоро перегораетъ (котлы съ форсунками служатъ не болѣе 8 лѣтъ).

224. Колосниковая рѣшетка. Колосниковая рѣшетка служитъ для сожиганія топлива при свободномъ доступѣ воздуха и безпрепятственномъ отдѣленіи золы и шлаковъ. Съ этою цѣлью рѣшетка дѣлается изъ отдѣльныхъ чугунныхъ (иногда желѣзныхъ— въ металлургическихъ печахъ, локомотивахъ) брусковъ (*колосниковъ*), снабженныхъ небольшими боковыми выступами по концамъ и по серединѣ для образованія щелей, необходимыхъ для притока воздуха и отдѣленія золы. Колосникамъ придается обыкновенно

форма тѣлъ равнаго сопротивленія изгибу (фиг. 205) съ трапецоидальнымъ поперечнымъ сѣченіемъ для свободнаго отдѣленія золы, а также для надлежащаго охлажденія колосниковъ струями холоднаго воздуха. Колосники располагаютъ на желѣзныхъ или чугунныхъ поперечныхъ брусьяхъ, задѣланныхъ концами въ кладку. Между концами колосниковъ и стѣнками топки оставляются небольшіе зазоры—для свободнаго удлиненія первыхъ. Иногда концы колосниковъ скашиваютъ, для того чтобы при удлиненіи послѣднихъ они какъ клиномъ выжимали постороннія тѣла, попавшія въ зазоръ (шлакъ, золу, мелкій уголь). Колосники дѣлаются толщиною отъ 2 до 3 сант. и имѣютъ на концахъ приливы высотою около $^1/_6$ толщины колосниковъ, такъ что между послѣдними образуется зазоръ шириною въ $^1/_3$ ихъ толщины. Наибольшая длина колосниковъ = 1,4 м.



Фиг. 205.

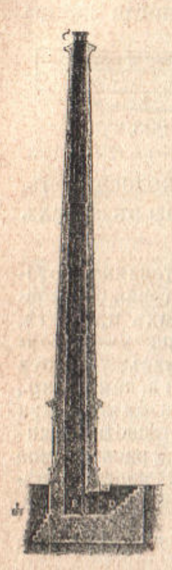
Размѣры рѣшетки зависятъ отъ количества и качества топлива, которое нужно на ней сжечь, а также отъ скорости горѣнія, которая обусловливается тягою. Можно принять, что въ постоянныхъ котлахъ при тягѣ, производимой обыкновенными дымовыми трубами, слѣд., при *умѣренномъ* горѣніи, можно сжечь на каждомъ кв. метрѣ рѣшетки въ часъ: угля отъ 70 до 80 klg., а дровъ отъ 90 до 100 klg. При усиленной тягѣ, какъ напр., въ локомотивахъ, въ которыхъ тяга производится выпускомъ мятаго пара въ дымовую трубу, можно принять, что на каждомъ кв. м. рѣшотки сжигается около 250 klg, угля въ часъ. Зная количество угля, расходуемое котломъ въ часъ, не трудно по этимъ даннымъ опредѣлить площадь рѣшетки. Называя ее буквою s и буквою p вѣсъ сжигаемаго въ часъ угля, будемъ имѣть: 1) для постоянныхъ и пароходныхъ машинъ $s = \frac{p}{70}$ кв. м.; 2) для локомотивовъ: $s = \frac{p}{250}$ кв. м. Количество же угля, необходимое для дѣйствія котла въ часъ, опредѣляется по количеству пара, расходуемаго машиною въ то же время (§ 269). Рѣшеткѣ даютъ обыкновенно видъ прямоугольника; длина ея дѣлается около $^1/_3$ длины котла, но не должна быть, въ видахъ удобства управленія топкою, болѣе 2 м.; ширина же дѣлается равною діаметру котла. Площадь промежутковъ между колосниками составляетъ: для угля отъ $^1/_4$ до $^1/_3$, а для дровъ отъ $^1/_6$ до $^1/_5$ всей площади рѣшотки.

Примѣръ. Машина расходуетъ 1120 klg. пару въ часъ. Хорошій котелъ при хорошемъ углѣ даетъ на 1 klg. угля 7 klg. пару; слѣд., на рѣшеткѣ должно сгорать въ часъ 160 klg. угля. Площадь рѣшетки $s = \frac{160}{70} = 2,286$ кв. м. Площадь зазоровъ $= \frac{1}{4} \cdot 2,286 = 0,5715$ кв. м. Пусть діаметръ котла $D = 1$ м.; тогда $s = 2,286 = 1 \cdot l$; откуда длина рѣшетки $l = 2,286$ м. Но предѣльная длина колосниковъ = 1,4 м.; слѣд., колосники должны быть уложены въ 2 ряда; длина колосниковъ = 1,143 м. Толщина ихъ 2,5 с. Число ихъ въ одномъ ряду 29.

225. Дымоходы. Расположеніе дымовыхъ ходовъ зависитъ отъ устройства котла. *Поперечное сѣченіе ихъ* (обыкновенно прямоугольное) *должно быть одно и тоже по всей ихъ длинѣ и равно пло-*

щади прозоровъ рѣшетки. Общая длина всѣхъ дымоходовъ не должна превосходить 30 м.; въ противномъ случаѣ тяга будетъ слишкомъ затруднена. Противъ каждаго дымохода должно существовать въ кирпичной кладкѣ *отверстіе*, герметически запирающееся и служащее *для очистки хода* отъ сажи и золы.

226. Дымовая труба (фиг. 206). Дымовая труба имѣетъ весьма важное значеніе въ устройствѣ печи: отъ нея главнымъ образомъ зависитъ ходъ печи. Труба постоянно наполнена газами, температура которыхъ значительно выше температуры наружнаго воздуха. Поэтому давленіе наружнаго воздуха на слой, лежащій надъ рѣшеткою, больше обратнаго давленія воздуха на величину разности между вѣсомъ столба наружнаго воздуха, имѣющаго объемъ, равный объему трубы, и вѣсомъ столба продуктовъ горѣнія, наполняющихъ трубу, Эта разность давленій и производитъ *тягу* воздуха, заставляя его проходить сквозь слой топлива и подниматься по трубѣ, преодолѣвая всѣ встрѣчающіяся въ печи и трубѣ сопротивленія. Ясно, что чѣмъ выше труба, тѣмъ больше будетъ разность давленій: тѣмъ сильнѣе тяга воздуха и тѣмъ быстрѣе будетъ происходить горѣніе. Сила тяги зависитъ также отъ температуры дыма, находящагося въ трубѣ: чѣмъ ниже эта температура, тѣмъ выше должна быть труба, при одинаковомъ объемѣ дыма и при томъ же поперечномъ сѣченіи трубы.



Фиг. 206.

Для образованія хорошей тяги труба должна имѣть надлежащіе размѣры, т. е. высоту и поперечное сѣченіе, черезъ которое долженъ проходить въ секунду опредѣленный объемъ W продуктовъ горѣнія. Называя буквою F площадь верхняго отверстія трубы и буквою v скорость дыма при выходѣ изъ трубы, будемъ имѣть: $W = Fv$. Какъ показываютъ вычисленія и опытъ, скорость v пропорціональна корню квадратному изъ высоты H трубы и разности $t' - t$ температуръ внутри трубы и наружнаго воздуха. Величина ея можетъ быть представлена слѣдующею формулою (*Пекле*):

$$v = 0{,}1124 \sqrt{H\,(t' - t)} \text{ фут.}$$

Слѣдовательно:

$$W = 0{,}1124\, F \sqrt{H\,(t' - t)}.$$

Изъ этой формулы видно, что наибольшее вліяніе на силу тяги имѣетъ сѣченіе трубы. По наблюденіямъ *Пекле*, наивыгоднѣйшая температура газовъ въ трубѣ (для пароваго котла) равна 300°. Принимая среднюю температуру наружнаго воздуха = 10°, получимъ $t' - t = 290°$. Обыкновенная высота фабричныхъ трубъ бы-

ваетъ отъ 60 до 120 фут. [1]). Имѣя эти данныя и зная объемъ W газовъ (§ 227) можно опредѣлить изъ послѣдней формулы величину площади F верхняго отверстія трубы. Въ практикѣ *площади отверстія трубы даютъ обыкновенно величину, равную площади дымовыхъ ходовъ.*

Дымовыя трубы строятся изъ *кирпича* или изъ *листоваго желѣза.* Для большей устойчивости, кирпичныя трубы получаютъ снаружи пирамидальную или коническую форму. Обыкновенно толщина стѣнокъ вверху $\frac{1}{2}$—1 кирпичъ, внизу: 2—3 кирпича. Наклонъ наружныхъ стѣнокъ дѣлается отъ 0,015 до 0,025. Такъ какъ вѣсъ трубы весьма значителенъ, то онѣ требуютъ прочныхъ фундаментовъ, во избѣжаніе неравномѣрной осадки, могущей повлечь за собою наклонъ и даже паденіе трубы.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда оказывается невозможнымъ устроить трубу надлежащей высоты, производятъ *искусственную тягу* особыми средствами. Такъ, напр., въ локомотивахъ тяга производится струею мятаго пара, выпускаемаго въ трубу изъ паровыхъ цилиндровъ; на большихъ военныхъ пароходахъ и при сварочныхъ печахъ—*воздуходувными машинами* или *вентиляторами*, которые производятъ дутье воздуха подъ рѣшетку. Въ послѣднее время стали входить въ употребленіе для этой цѣли *пароструйчатые вентиляторы Кертинга*, которые устанавливаются иногда въ самой трубѣ и въ этомъ случаѣ дѣйствуютъ всасываніемъ.

227. Топливо и его теплотворная способность. Объемы воздуха, необходимаго для горѣнія, и продуктовъ горѣнія.

Какъ было сказано въ § 221, для отопленія паровыхъ котловъ употребляютъ *твердое*, *жидкое* и *газообразное* топливо. Изъ *твердыхъ топливъ* употребляются преимущественно: *каменный уголь, антрацитъ, лигнитъ, торфъ, дрова и солома.* Послѣдняя имѣетъ примѣненіе, какъ топливо, только въ сельскомъ хозяйствѣ для отопленія локомобилей. Представителемъ *жидкаго топлива* служитъ *нефть* (вѣрнѣе нефтяные остатки). Что касается *газообразнаго топлива*, то въ натуральномъ видѣ оно встрѣчается только въ Америкѣ—въ Пенсильваніи, гдѣ въ мѣстностяхъ, изобилующихъ нефтью, имѣется много скважинъ, изъ которыхъ выдѣляется горючій газъ. Искусственнымъ путемъ горючіе газы получаются черезъ несовершенное сожиганіе твердыхъ топливъ въ особыхъ топкахъ, наз. *ге-*

[1]) Болѣе высокія трубы представляютъ рѣдкія исключенія. Труба кронштадскаго пароходнаго завода имѣетъ высоту $217^1/_2$ ф. отъ поверхности земли до вершины; изъ этого числа $36^1/_2$ ф. принадлежатъ пьедесталу. Бутовый фундаментъ заложенъ на ростверкѣ, на сваяхъ, на 8 фут. ниже поверхности земли. Часть пьедестала, начиная отъ грунт. водъ (5 ф. ниже пов. земли) и до $12^1/_2$ ф. надъ землею, сложена изъ гранита. Остальная часть пьедестала и вся труба изъ кирпича. Внѣшняя и внутр. форма трубы—8 гр. пирамида. Наружная ширина ея у вершины пьедестала 22 ф., а толщина стѣнокъ 5 ф.; у вершины толщина стѣнъ $1^1/_2$ ф., а внутр. поперечникъ $5^1/_2$ ф.

нераторами, изъ которыхъ газъ подводится трубою къ топкѣ котла, гдѣ и сожигается. Котлы, находящіеся вблизи доменныхъ печей, отапливаются теряющимися газами этихъ печей, содержащими большое количество окиси углерода. Газы, выдѣляющіеся изъ колошника доменной печи улавливаются воронкою, изъ которой проводятся въ топку котла трубою. На желѣзодѣлательныхъ заводахъ для отопленія паровыхъ котловъ пользуются теряющимся жаромъ пудлинговыхъ, сварочныхъ, калильныхъ и т. п. печей, т. е. теплотою продуктовъ горѣнія (малогорючихъ), выходящихъ изъ этихъ печей съ температурою около600 –700°C.

Достоинство топлива опредѣляется его *теплотворною* способностью, т. е. количествомъ теплоты, развивающейся при горѣніи единицы вѣса топлива. Всякое топливо состоитъ изъ органическихъ веществъ, представляющихъ собственно горючій матеріалъ, и большаго или меньшаго количества неорганическихъ примѣсей, которыя при сгораніи остаются въ видѣ золы. Кромѣ того, всѣ эти роды топлива содержатъ въ себѣ различное количество гигроскопической воды. Вслѣдствіе неодинаковости химическаго состава различныхъ родовъ топлива происходитъ различіе въ ихъ теплотворной способности, на которую особенное вліяніе оказываетъ гигроскопическая вода; послѣдняя при горѣніи обращается въ паръ и для этого требуетъ извѣстнаго количества теплоты, на которое уменьшается теплородная способность топлива.

Во время дѣйствія топки сперва происходитъ сухая перегонка горючаго матеріала. Отдѣляющіеся при этомъ газы сгораютъ, при достаточномъ доступѣ воздуха, въ воду и углекислоту, дѣйствіемъ пламени, отдѣляющагося отъ горящаго топлива.

Горѣніе можетъ быть двухъ родовъ: *полное* или *совершенное* и *неполное* или *несовершенное*. При горѣніи перваго рода горючій матеріалъ развиваетъ въ топкѣ количество теплоты, какое показываютъ теоретическія вычисленія, предполагающія, что всѣ составныя части топлива, способныя горѣть, соединяются съ кислородомъ воздуха въ полной пропорціи и не остаются безъ участія въ процессѣ горѣнія. При *несовершенномъ* сгораніи топлива, въ печи развивается количество теплоты, меньшее теоретическаго. Видимымъ слѣдствіемъ неполнаго горѣнія является отдѣленіе дыма, который представляетъ смѣсь водяныхъ паровъ, мельчайшихъ частицъ угля и горючихъ газовъ, не принимавшихъ участія въ горѣніи. Образованіе дыма вредно еще въ томъ отношеніи, что онъ осаждается на стѣнкахъ котла въ видѣ сажи, уменьшающей ихъ теплопроводность.

Большая или меньшая степень совершенства горѣнія зависитъ отъ количества притекающаго въ топку воздуха. Пусть P будетъ теоретическое вѣсовое количество воздуха, необходимаго для сгоранія 1 klg. топлива и T—теплотворная способность послѣдняго. По наблюденіямъ *Пекле* оказывается, что, какъ бы ни была устро-

ена печь, при теоретическомъ притокѣ воздуха горѣніе происходитъ неполное, вслѣдствіе того, что нѣкоторая часть кислорода воздуха проходитъ черезъ нее, не принявъ участія въ процессѣ горѣнія. Поэтому въ печь вводятъ количество воздуха, большее теоретическаго. Изъ опытовъ слѣдуетъ, что при тягѣ воздуха въ количествѣ, равномъ 1,5 P, въ топкѣ выдѣляется количество теплоты= 0,75 T, а при 3,5 P горѣніе происходитъ почти полное, т. е. въ топкѣ выдѣляется T ед. теплоты и дыма почти нѣтъ. Изъ количества выдѣлившейся теплоты нѣкоторая часть уносится продуктами горѣнія въ трубу. Эта потеря теплоты тѣмъ больше, чѣмъ больше количество притекающаго воздуха (при той же температурѣ въ трубѣ); она уменьшаетъ отчасти выгоды, представляемыя полнымъ горѣніемъ относительно развивающейся въ топкѣ теплоты. При извѣстной температурѣ вылетающихъ газовъ эти выгоды могутъ совершенно покрыться потерею теплоты въ трубу, такъ что въ *экономическомъ отношеніи оба рода горѣнія* (съ малымъ и большимъ притокомъ воздуха) *могутъ казаться одинаково выгодными*. Этотъ результатъ получается въ печахъ паровыхъ котловъ, въ которыхъ температура газовъ въ трубѣ равна 300° [1]).

Хотя въ экономическомъ отношеніи оба способа топки одинаковы, на практикѣ, въ паровыхъ котлахъ, обыкновенно примѣняется топка съ большимъ количествомъ воздуха, около 2 разъ болѣе теоретическаго, какъ дающая менѣе дыма. Размѣры трубы должны быть разсчитаны такимъ образомъ, чтобы она могла тянуть это количество воздуха, или другими словами, чтобы черезъ ея отверстіе выходило въ данное время то количество W продуктовъ горѣнія, которое образуется при сгораніи 1 klg. топлива.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены величины абсолютной теплотворной способности главныхъ родовъ топлива а также объемы воздуха и продуктовъ горѣнія.

---

[1]) Въ этомъ не трудно убѣдиться слѣдующимъ простымъ вычисленіемъ. При сгораніи 1 klg. каменнаго угля образуется (nP+1) klg. продуктовъ горѣнія. Если температура ихъ въ моментъ оставленія печи=t′, то, принимая теплоемкость ихъ среднимъ числомъ = 0,24, найдемъ количество теплоты, уносимой въ трубу: (nP=1)0,24t′. Поэтому количество теплоты, оставшейся въ печи, будетъ: $Q = kT - (nP + 1)0{,}24t'$, гдѣ kT есть количество теплоты, развивающееся при горѣніи 1 klg. топлива. Величина коефф. k при n=1,5 равна 0,75, а при n=3,5 равна 1. По Пекле теоретическое количество воздуха, необходимаго для сгоранія 1 klg. угля=9,05 куб. м. Принявъ вѣсъ куб. м. его=1.25 klg, получимъ для угля: P=11,3 klg. Принявъ же для каменнаго угля, среднимъ числомъ, T = 7000 ед. т., найдемъ: при n = 1,5, Q=3957,6 ед. т., а при n=3,5, Q=4080,4 ед. т. е. оба количества теплоты, переданной печи, почти *равны между собою*.

Названіе топлива.	Тепло-творная способ-ность T.	Практическій объемъ воздуха, необходимаго для горѣнія:		Объемъ продуктовъ горѣнія W (при 300°), образующійся:	
		1 фунта въ куб. фут.	1 klg. въ куб. м.	изъ 1 фунта въ куб. ф.	изъ 1 klg. въ куб. м.
Дрова (съ 20% влажности)	2800	74	5,11636	175	12,09950
Торфъ (съ 20% влажности)	3600	123	8,50422	275	19,01350
Лигнитъ (средняго качества)	4850	190	13,13660	215	14,86510
Каменный уголь (средняго качества) . .	7000	240	16,59360	525	36,29850
Антрацитъ	7500	250	17,28500	540	37,33560
Коксъ (съ 15% золы) .	6000	204	14,10456	428	29,59192

Примѣръ. При данностяхъ примѣра § 224 объемъ воздуха, необходимаго для сгоранія 160 klg. угля = 2654,976 куб. м. въ часъ, а въ сек. 0,73749 куб. м. Объемъ продуктовъ горѣнія, развивающихся въ часъ=5807,76 куб. м., а въ сек. 1,613266 куб. м.=56,974263 куб. ф. Примемъ высоту трубы=60 ф., тогда площадь отверстія $F = \frac{w}{0{,}1124\sqrt{H(t'-t)}} = \frac{56{,}97426}{0{,}1124\sqrt{60(300-10)}} =$ $= 3{,}843$ кв. ф.

B. Системы паровыхъ котловъ.

228. Матеріалъ для котловъ. Каждый котелъ долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: 1) онъ долженъ быть непроницаемъ ни для воды, ни для пара; 2) онъ долженъ постоянно доставлять необходимое количество пара требуемой упругости; 3) долженъ расходовать топливо наиболѣе экономно; 4) стѣнки его должны представлять достаточное сопротивленіе упругой силѣ заключеннаго въ котлѣ пара.

Матеріаломъ для котловъ обыкновенно служитъ *листовое желѣзо*, рѣже сталь (мягкая), еще рѣже (по причинѣ дороговизны) мѣдь и латунь. Чугунъ, не смотря на дешевизну, не употребляется для приготовленія котловъ по двумъ причинамъ: 1) вслѣдствіе сравнительно слабой теплопроводности и 2) вслѣдствіе слабаго сопротивленія разрыву. По ненадежности чугунныхъ котловъ, у насъ, какъ и во многихъ странахъ, даже закономъ запрещено строить котлы изъ чугуна.

Опытъ показываетъ, что *сопротивленіе металла съ возрастаніемъ температуры значительно уменьшается.* Такъ сопротивленіе

желѣза при 600—700°C (при темнокрасномъ каленіи) составляетъ лишь отъ $^1/_2$ до $^1/_3$ сопротивленія его при обыкновенной температурѣ. Поэтому должно избѣгать накаливанія стѣнокъ котла во что бы то ни стало. Точно также вредны для прочности котла частыя и въ особенности быстрыя *измѣненія температуры*; стѣнки удлинняются и затѣмъ снова быстро сжимаются, причемъ *волокнистое строеніе листоваго желѣза измѣняется* во вредъ его прочности: оно теряетъ свою тягучесть и становится хрупкимъ. Эти замѣчанія относятся въ особенности къ листамъ надъ рѣшоткою и порогомъ; листы эти скорѣе всего изнашиваются.

229. Форма котловъ. Паровые котлы имѣютъ обыкновенно *цилиндрическую* форму, которая представляется наилучшею въ отношеніи легкости изготовленія, при значительной прочности. Исключенія очень рѣдки (нѣкоторые типы пароходныхъ котловъ). Котлы составляются изъ отдѣльныхъ трубъ, которыя приготовляются изъ одного или двухъ желѣзныхъ листовъ, согнутыхъ въ цилиндрическую форму; края согнутыхъ листовъ накладываются одинъ на другой и склепываются *продольнымъ рядомъ заклепокъ*, которыя пропускаются сквозь отверстія, пробитыя или просверленныя (что лучше) въ листахъ. Отдѣльныя трубы вставляются одна въ другую, для чего наружный діаметръ одной дѣлается на двѣ толщины листа меньше внутренняго діаметра другой, и склепываются *поперечнымъ рядомъ заклепокъ*.

Хотя нажатіе листовъ другъ къ другу, производимое заклепками, обезпечиваетъ значительную плотность соединенія, однако заклепочные швы далеко *не герметичны*: при гидравлической пробѣ хорошо склепанный котелъ течетъ по всѣмъ швамъ. Для приданія швамъ полной герметичности производится послѣ склепки *чеканка* листовъ въ швахъ. Чеканка заключается въ томъ, что особымъ инструментомъ, наз. *чеканомъ* (родъ зубила) проходятъ (съ помощью молотка) по скошеннымъ краямъ листа, вдавливая острый уголъ послѣдняго внутрь шва. Края листовъ обрѣзаются (наклонными ножницами) на острый уголъ (60° — 70°), а не прямой, съ цѣлью избѣжать вдавленныхъ желобковъ въ швѣ послѣ подчеканки. При большихъ котлахъ чеканка производится снаружи и внутри котла; при малыхъ же (нагрѣвательныя и жаровыя трубы и т. п.)— только снаружи.

Днища котловъ имѣютъ обыкновенно *выпуклую* форму, но нерѣдко *плоскую* (локомотивные, пароходные и нѣкоторые фабричные котлы). Въ послѣднемъ случаѣ, для предупрежденія выпучиванія днищъ, ихъ скрѣпляютъ съ боковыми стѣнками котла помощью угольниковъ или тягъ (фиг. 211 и 215).

230. Поверхность нагрѣва. Водяная и огненная черта. *Поверхностью нагрѣва* наз. та часть поверхности котла, которая охватывается продуктами горѣнія топлива; на этой поверхности

происходитъ переходъ теплоты отъ продуктовъ горѣнія въ котелъ. По мѣрѣ движенія газовъ по дымовымъ оборотамъ температура ихъ (около 1200° въ топкѣ) все болѣе и болѣе понижается, но въ моментъ выхода изъ трубы должна быть около 300° С (§ 226): при меньшей температурѣ происходитъ дурная тяга; большая же температура влечетъ за собою безполезную потерю теплоты. Такъ какъ количество теплоты, передаваемой котлу, зависитъ отъ величины поверхности нагрѣва, то послѣдняя должна имѣть величину, достаточную для охлажденія продуктовъ горѣнія до 300° С. Чѣмъ больше поверхность нагрѣва, тѣмъ больше теплоты могутъ горячіе газы передать котлу, тѣмъ больше ихъ тепловое полезное дѣйствіе; другими словами, тѣмъ больше воды будетъ обращено въ паръ тѣмъ же количествомъ угля. Цѣль изобрѣтенія различныхъ системъ паровыхъ котловъ заключается главнымъ образомъ въ томъ, чтобы при тѣхъ же размѣрахъ получить большую поверхность нагрѣва.

Отъ величины поверхности нагрѣва прежде всего зависитъ *количество пара*, которое котелъ можетъ доставить въ опредѣленное время, напр. въ часъ. Изъ опытовъ слѣдуетъ, что на каждомъ кв. м. поверхности нагрѣва испаряется воды въ часъ: 1) въ *постоянныхъ котлахъ* отъ 15 до 20 klg.; 2) въ *пароходныхъ*—отъ 27 до 35 klg и 3) въ *локомотивныхъ*—42 до 50 klg. Если напр., котелъ долженъ доставлять въ часъ 720 klg. пара, то его поверхность нагрѣва, при *паропроизводительности* въ 20 klg., должна быть равна 36 кв. м. Если бы котелъ имѣлъ большую поверхность нагрѣва, напр. 45 кв. м., то тѣ же 720 klg пара будутъ получены съ большею легкостью, что поведетъ къ сбереженію и котла и топлива. Конечно, тѣ же 720 klg. пара могутъ быть доставлены котломъ, имѣющимъ меньшую поверхность нагрѣва, напр. 25 кв. м., но при условіи весьма дѣятельной топки (*форсированіе* огня), безъ сомнѣнія во вредъ долговѣчности котла и экономіи топлива, такъ какъ пришлось бы на небольшой рѣшеткѣ сжимать большое количество топлива, при несовершенномъ его горѣніи. Отсюда видна зависимость величины поверхности нагрѣва отъ величины площади рѣшетки; на практикѣ обыкновенно считаютъ, что *поверхность нагрѣва должна быть въ 30 разъ болѣе площади рѣшотки.*

Весьма нерѣдко поверхность нагрѣва, разсчитываютъ *по числу паровыхъ лошадей полезной работы машинъ*, принимая на каждую п. л. полезной работы: 1) для *постоянныхъ* (фабричныхъ) *котловъ* отъ 1,5 до 2,5 кв. м. (тѣмъ больше, чѣмъ менѣе сила машины); 2) для *пароходныхъ* к. отъ 0,6 до 0,8 кв. м.; 3) для *локомотивовъ* отъ 0,5 до 0,6 кв. м. и 4) для *локомобилей* отъ 0,6 до 1 кв. м.

При каждомъ котлѣ должно быть всегда строго соблюдено условіе, чтобы вся поверхность нагрѣва была покрыта водою. *Никогда уровень воды въ котлѣ не долженъ падать такъ низко, чтобы поверхность нагрѣва омывалась паромъ*, а не водою, во избѣжаніе

накаливанія стѣнокъ котла, ставящаго котелъ въ опасное положеніе (§ 228). Для безопасности законъ предписываетъ, *чтобы нижайше положеніе уровня воды въ котлѣ* такъ наз. *водяная черта*, *было все таки на 10 сант. (4″) выше верхняго края дымоходовъ* или такъ наз. *огненной черты*.

231. Водяное и паровое пространства котла. Въ котлѣ постоянно долженъ находиться запасъ воды и пара, значительно большій количества пара, расходуемаго машиною. Если вообразимъ вертикальный діаметръ котла раздѣленнымъ на 3 равныя части, то вода наполняетъ котелъ почти до $^2/_3$, остальное же пространство котла заполнено паромъ.

Хотя при *недостаточномъ запасѣ воды* котелъ начинаетъ скорѣе давать паръ данной упругости, нежели въ томъ случаѣ, когда воды въ котлѣ будетъ много, но за то упругость его легко подвергается колебаніямъ, вслѣдствіе случайныхъ колебаній расхода пара, температуры въ топкѣ (огонь поддерживается не равномѣрно), а также во время питанія котла свѣжею водою. При большомъ запасѣ воды этихъ колебаній упругости не будетъ, ибо при данномъ объемѣ воды и пара одинаковой температуры первая содержитъ значительно больше теплоты [1]), которая и регулируетъ парообразованіе.

Величина *водяного пространства* зависитъ отъ назначенія котла. Если требуется, чтобы котелъ какъ можно скорѣе давалъ паръ, или если онъ работаетъ короткое время или съ частыми перерывами, или, наконецъ, если колебанія упругости пара не имѣютъ важнаго значенія, тогда запасъ воды въ котлѣ долженъ быть не великъ (какъ напр. въ котлахъ паровыхъ пожарныхъ помпъ, паровыхъ молотовъ, паровыхъ крановъ, насосовъ и т. п.). При обратныхъ условіяхъ водяное пространство котла должно быть велико (какъ напр. въ котлахъ прядильныхъ и ткацкихъ фабрикъ, машиностроительныхъ заводовъ, мельницъ, сахарныхъ заводовъ и т. п.).

Что касается *пароваго пространства*, то при недостаточномъ запасѣ пара, этотъ послѣдній, будучи принужденъ идти къ машинѣ почти тотчасъ послѣ своего образованія, будетъ очень *влаженъ*, т. е. будетъ заключать въ себѣ много воды въ видѣ мельчайшихъ капель; такъ какъ вода эта, нагрѣтая до температуры парообразованія, никакой полезной работы въ машинѣ не производитъ (вода не обладаетъ упругостью), то теплоту, заключенную въ ней, должно считать безполезно потерянною. Поэтому паръ долженъ имѣть до-

---

[1]) 1 klg. пара, напр., при 159° содержитъ 655 ед. т., а 1 klg. воды — 159 ед. Но объемъ перваго въ 307 разъ болѣе объема воды, слѣд., при одинаковомъ объемѣ съ 1 klg. воды, паръ содержитъ 2,13 ед. т., т. е. въ $\frac{159}{2,13} = 75$ разъ менѣе, нежели 1 klg. воды.

статочно времени, чтобы освободиться отъ захваченной имъ воды *(просушиться)*, для чего паровое пространство должно быть достаточно велико. Весьма полезно увеличивать его укрѣпленіемъ на котлѣ особаго вертикальнаго цилиндра (такъ наз. *паровою колпака* или *паросушителя*, § 257), изъ котораго уже паръ берется въ машину.

Для осушенія пара устраиваются различныя приспособленія *(водоловители)*: подвѣшиваютъ подъ паровымъ куполомъ *плоскіе щиты*, въ которые ударяется паръ при своемъ движеніи къ колпаку, при чемъ водяныя капельки падаютъ обратно въ котелъ; подвѣшиваютъ въ паровомъ пространствѣ вдоль котла *длинныя трубы*, снабженныя въ верхней своей части прорѣзами или дырочками; наконецъ уменьшеніе процентнаго содержанія воды достигается *съуженіемъ* выпускнаго отверстія, для чего не вполнѣ открываютъ створный паровой клапанъ (§ 258): паръ, выходя изъ съуженнаго отверстія, расширяется, при чемъ часть воды, заключающейся въ немъ, обращается въ паръ.

232. Толщина стѣнокъ котла. *Толщина стѣнокъ* котла должна быть *тѣмъ больше, чѣмъ выше упругость пара въ котлѣ и чѣмъ больше его діаметръ.* Такъ, напр., котелъ получаетъ толщину стѣнокъ e:

при	6	атм.	полнаго внутр. давл.	и	0,8	м. діам.,	$e = 7{,}5^{m}/_{m}$
»	6	»	»	»	1,2	»	$e = 10{,}5$ »
»	4	»	»	»	1	»	$e = 7$ »
»	6	»	»	»	1	»	$e = 9$ »

Заграницею прежде толщина стѣнокъ предписывалась закономъ, но въ настоящее время выборъ предоставленъ заводчику, который выпускаетъ котелъ съ гарантіей на опредѣленное время.

У насъ закономъ [1]) предписывается формула:

$$e'' = 0{,}0225(n - 1)D' + 0{,}12'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (71)$$

гдѣ n есть абсолютная упругость пара въ котлѣ въ атм., D—діам. котла въ фут. и e толщина стѣнки въ дюймахъ. Переведя на франц. мѣры получимъ:

$$e^{m}/_{m} = 1{,}85(n-1)D^{m} + 3^{m}/_{m}.$$

Въ Германіи для опредѣленія толщины стѣнокъ котла пользуются формулою *Рейхе*:

$$e^{m}/_{m} = (n + 1)D^{m} + 2^{m}/_{m}.$$

Что касается толщины стѣнокъ *внутреннихъ* трубъ, *подвергающихся внѣшнему давленію*, то по теоріи она должна быть при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ *въ два раза больше*, нежели въ

---

[1]) Сводъ законовъ Р. И. 1857 г., т. XI, ч. II.

трубахъ, подвергающихся *внутреннему давленію.* Но на практикѣ обыкновенно дѣлаютъ толщину эту меньше, во избѣжаніе скораго прогоранія толстыхъ стѣнокъ, но за то укрѣпляютъ снаружи эти внутреннія трубы (*жаровыя* трубы) *кольцами изъ угловаго желѣза* (фиг. 207a) или еще лучше кольцевыми скрѣпленіями по системѣ *Адамсона* и *Боулинга* (фиг. 207 b, c). Въ послѣднее время съ тою же цѣлью стали строить внутреннія трубы изъ *волнистаго* желѣза.

Вообще надо замѣтить, что толщина стѣнокъ не должна быть слишкомъ велика, во 1-хъ потому, что при большой толщинѣ листовъ качества желѣза хуже, нежели при малой, такъ какъ прочность желѣза зависитъ отъ его однородности, а послѣдняя легче достигается въ тонкихъ листахъ; во 2-хъ потому, что большая толщина затрудняетъ переходъ теплоты въ котелъ и способствуетъ скорому прогоранію желѣза. Поэтому у насъ установлено закономъ, чтобы толщина стѣнокъ не была больше 0,45 дюйм. (1,13 сант.), а наибольшее давленіе внутри котла не свыше 6 атм. Подставивъ эти предѣльныя величины e и n въ формулу (71) получимъ предѣльный діаметръ котла D=1,21 м.



Фиг. 207.

Примѣчаніе. На нашихъ заводахъ изготовляется листовое желѣзо толщиною въ $^1/_4''$, $^5/_{16}''$, $^3/_8''$, $^7/_{16}''$, $^1/_2''$. $^9/_{16}''$ и $^5/_8''$. Поэтому при проектированіи котла, вычисливъ толщину e стѣнокъ его, берутъ наиболѣе подходящій къ ней сортъ желѣза.

233. Полезное дѣйствіе паровыхъ котловъ. Теоретическій и дѣйствительный расходъ топлива. Предположимъ, что паровая машина расходуетъ K klg. пара въ часъ. Количество теплоты, необходимое для образованія K klg. пара температурою t изъ воды, температура которой t_0, по формулѣ Реньо (§ 218) будетъ:

$$Q=K(606,5+0,305\ t)-Kt_0,$$

Пусть q_0 и T будутъ вѣсъ и теплотворная способность сожигаемаго топлива, тогда будемъ имѣть, предполагая, что *вся теплота, развиваемая въ топкѣ, переходитъ къ водѣ*:

$$Q=q_0T=K(606,5+0,305\ t)-Kt_0,$$

откуда получимъ *теоретическое количество топлива:*

$$q_0=\frac{K\,(606,5+0,305\ t)-Kt_0.}{T}$$

Дѣйствительный расходъ топлива значительно больше теоретическаго, вслѣдствіе того, что не вся теплота, развиваемая топливомъ при горѣніи, переходитъ въ котелъ. Главнѣйшія причины потери теплоты суть: 1) не все топливо сгораетъ: часть его уносится

въ трубу, часть падаетъ въ зольникъ несгорѣвшею; 2) горѣніе остальной части не вполнѣ совершенное, т. е. получаются не окончательные продукты окисленія элементовъ, входящихъ въ составъ топлива, а промежуточные, напр., окись углерода и пр.; 3) значительная часть теплоты уносится въ дымовую трубу; 4) часть теплоты теряется на нагрѣваніе стѣнокъ печи и всего помѣщенія.

Отношеніе теплоты Q', переданной котлу, къ полной теплотѣ Q, развиваемой топливомъ, носитъ названіе коэфф. полезнаго дѣйствія паровага котла. Для хорошихъ котловъ $\frac{Q'}{Q} = 0,6$; слѣд., $Q' = 0,6Q = 0,6qT$. Поэтому *дѣйствительный расходъ q угля*, необходимаго для образованія K килограммовъ пара, будетъ:

$$q = \frac{K(606,5 + 0,305\,t) - Kt_0}{0,6T}.$$

Пусть, напр., $t = 159°$ ($n = 6$ атм.), $t_0 = 10°$, $T = 7000$. Полное количество теплоты, необходимое для образованія одного klg. пара будетъ: $Q = 606,5 + 0,305.159 - 10 = 645$ ед. т. Слѣд., одинъ klg. угля теоретически можетъ образовать $\frac{7000}{645} = 10,85$ klg. пара изъ воды, которой температура 10°. Дѣйствительное же количество пара $= \frac{0,6.7000}{645} = 6,5$ klg.

Въ практикѣ расходъ топлива опредѣляется обыкновенно по его *испарительной способности*, т. е. по количеству пара, получающагося отъ сжиганія 1 klg. топлива, и при расчетахъ руководствуются слѣдующими данными, найденными изъ опыта:

1 klg. кам. угля испар. въ обыкн. котлахъ . . .	5—7	klg.	воды
1 „ „ „ „ въ котл. Бельвиля и Рута.	6	„	„
1 „ „ „ „ „ англійскихъ котлахъ .	6—8	„	„
1 „ „ „ „ „ локомотивн. „ .	6—7	„	„
1 „ „ „ „ „ тенбринков. „ .	8—9	„	„
1 „ бураго угля испаряетъ	4—4,5	„	„
1 „ дровъ (сухихъ) „	2,5—3,5	„	„
1 „ торфа (съ 20° влажн.)	1,5—2	„	„
1 „ соломы	1,5—2	„	„
1 „ нефти	12—14	„	„

234. Осадки въ паровомъ котлѣ, средства противъ нихъ и удаленіе ихъ изъ котла. Различныя вещества, содержащіяся въ водѣ, отчасти въ растворѣ, отчасти въ видѣ механическихъ примѣсей, постепенно осѣдаютъ на дно и стѣнки котла по мѣрѣ испаренія воды, образуя слой иногда значительной толщины. *Осадки* весьма вредны по слѣдующимъ причинамъ: 1) они дурно проводятъ теплоту, поэтому увеличивается *расходъ топлива*; 2) стѣнки котла, отдѣленныя отъ воды слоемъ осадка *раскаляются до красна* и могутъ служить причиною *взрыва*, въ случаѣ если осадокъ дастъ трещину и часть его отскочитъ отъ стѣнокъ, причемъ вода придетъ

въ соприкосновеніе съ раскаленною стѣнкою. Вслѣдствіе быстраго охлажденія раскаленная стѣнка сильно сожмется, причемъ можетъ порваться связь ея съ сосѣднею, раскаленною стѣнкою, еще покрытою слоемъ осадка, и произойти взрывъ. Въ лучшемъ случаѣ быстрое охлажденіе вызоветъ вредное сотрясеніе стѣнокъ, сопровождающееся измѣненіемъ строенія желѣза (*надсадка* котла).

Осадокъ, образующійся въ котлѣ, бываетъ двухъ родовъ: *котельный илъ* и *котельный камень* (накипь). Котельный илъ представляетъ рыхлую массу, собирающуюся въ нижней части котла и состоящую изъ органическихъ веществъ въ смѣси съ землистыми частицами и частицами солей, бывшихъ въ растворѣ. Котельный илъ совершенно не пристаетъ къ стѣнкамъ котла и можетъ быть легко удаленъ изъ котла *продувкою* его, т. е. выпускомъ части воды (подъ слабымъ давленіемъ—не болѣе 2 атм.) черезъ особые краны, наз. *продувными*. Лучше всего продувку производить послѣ кратковременной остановки котла (утромъ рано—послѣ праздника). Весьма часто снабжаютъ котелъ особыми *собирателями грязи* (фиг. 208 и 218), имѣющій цѣлью собирать илъ въ безвредномъ мѣстѣ, откуда ихъ легко можно удалить продувкою.

Котельный камень, состоящій большею частью изъ гипса, пристаетъ какъ крѣпко къ стѣнкамъ котла, въ видѣ торы, что можетъ быть отдѣленъ только припомощи зубила. Онъобразуется всегда въ тѣхъ случаяхъ, когда питательная вода содержитъ въ себѣ сѣрнокислую известь (*гипсъ*). Гипсъ трудно растворяется въ водѣ. Въ котлѣ постепенно сгущается растворъ гипса, причемъ излишекъ его медленно осаждается на стѣнки, къ которымъ успѣваетъ прикипать, образуя *котельный камень*. Что касается углекислой извести и углекислой магнезіи, содержащихся нерѣдко въ водѣ (*жесткая вода*), то такъ какъ онѣ растворимы лишь въ водѣ, содержащей углекислоту, а при кипѣніи воды углекислота быстро улетучивается, то и та и другая осѣдаютъ быстро въ видѣ ила, а не камня.

Накипь вреднѣе и опаснѣе иловатыхъ осадковъ; поэтому было предложено много средствъ, если не уничтожающихъ совершенно накипь въ котлѣ, то по крайней мѣрѣ предупреждающихъ образованіе сплошнаго и твердаго камня. Изъ средствъ *механическихъ* наилучшіе результаты доставляетъ забрасываніе въ котелъ, послѣ его очистки, картофеля, отрубей, декстрина и др. веществъ, содержащихъ камеди и клей, которые связываютъ частицы осадка, образуя съ ними вязкую массу, не пристающую вовсе къ стѣнкамъ котла. Подобное же дѣйствіе оказываетъ обмазка внутренности котла жирными смазками, напр., изъ 1 ч. графита и 6 ч. сала (смазка *Кеннеди*). Выборъ *химическихъ* средствъ зависитъ отъ состава накипи, опредѣленіе котораго должно быть поручено знающему химику. Если въ составѣ накипи *преобладаетъ гипсъ*, то луч-

шимъ средствомъ считается прибавка къ питательной водѣ небольшаго количества *соды*, которая не вредитъ стѣнкамъ котла. Менѣе сильное средство представляетъ отваръ веществъ съ богатымъ содержанiемъ дубильной кислоты (дубовая и ивовая кора, чернильные орѣшки, желуди и пр.), которая входитъ въ двойное разложенiе съ углекислой и сѣрнокислой известью, образуя дубильнокислыя соли, осѣдающiя въ видѣ рыхлаго порошка.

Наконецъ полезно, для уменьшенiя накипей, *подогрѣвать* питательную воду въ особыхъ сосудахъ (§ 256), въ которыхъ успѣетъ осѣсть часть примѣсей.

235. Подраздѣленiе паровыхъ котловъ. Всѣ существующiе котлы могутъ быть отнесены къ слѣдующимъ четыремъ группамъ: 1) *котлы съ наружною топкою*, 2) *котлы съ внутреннею топкою*, 3) *трубчатые* и 4) *циркуляцiонные котлы*.

Первыя три группы образуютъ одинъ обширный классъ котловъ съ *большимъ запасомъ воды и пара;* послѣдняя группа заключаетъ котлы *съ малымъ запасомъ воды*; въ нихъ вода обращается въ паръ почти непосредственно послѣ своего вступленiя въ котелъ.

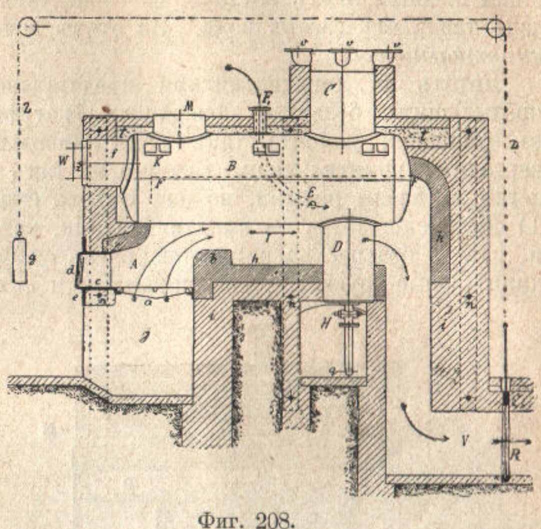
По *упругости* (n) *пара* въ котлѣ, они могутъ быть раздѣлены на котлы *низкаго давленiя* ($n = 1^1/_4 - 1^1/_2$ ат.), *средняго давленiя* ($n = 1^1/_2 - 3^1/_2$) и *высокаго давленiя* ($n = 3^1/_2 - 6$ ат. для постоянныхъ машинъ, и $n = 5 - 10$ ат. для передвижныхъ машинъ—локомобилей, локомотивовъ и пароходовъ). Котлы низкаго и средняго давленiя примѣняются при водяномъ и паровомъ отопленiи, въ баняхъ и прачешныхъ заведенiяхъ. Для паровыхъ машинъ ставятся котлы, начиная отъ 3 атмосферъ абсолютной упругости пара.

I. КОТЛЫ СЪ НАРУЖНОЮ ТОПКОЮ

236. Простой цилиндрическiй котелъ (фиг. 208). Этотъ котелъ служитъ прототипомъ котловъ съ внѣшнимъ нагрѣвомъ и представляетъ горизонтальный желѣзный цилиндръ B съ выпуклыми днищами. *A* есть топка, *a* — колосниковая рѣшетка, b — порогъ, c—топочная плита (чугунная), служащая продолженiемъ рѣшетки, d — топочныя дверцы (двойныя), e — чугунная рама для дверецъ, h—огнеупорная облицовка печи, i—обыкновенная кладка, j—зольникъ, I—первый дымоходъ, V—боровъ, R—регистръ, подвѣшенный къ цѣпи zz съ противовѣсомъ G, опускающимся какъ разъ около топочныхъ дверецъ, подъ рукою у кочегара; n,n,n—желѣзныя тяги, служащiя для скрѣпленiя печи; t,t—слой золы (какъ дурнаго проводника теплоты) для уменьшенiя потери теплоты черезъ лучеиспусканiе.

Котелъ B опирается на кладку шестью *лапами* k, приклепанными въ верхней его части, а также нижнею своею поверхностью (фиг. 202) и отчасти *головкою* f, которая собственно назначается

для прикрѣпленія арматуры (водомѣрнаго стекла W, манометра и проч.). C есть чугунный или желѣзный паровой колпакъ, v,v,v — флянцы колпака, служащія для прикрѣпленія къ нему различныхъ клапановъ, D — собиратель осадковъ, E — питательная трубка, FF — огненная черта, z—водяная черта, F_1— флянецъ для укрѣпленія питательнаго клапана (автоматическ.), H — продувной (водоспускной) кранъ, q — водоспускная трубка и каналъ, M—лазъ или горловина, т. е. отверстіе (герметически прикрытое крышкою), черезъ которое проникаетъ рабочій внутрь котла для осмотра и очистки его отъ накипи.



Фиг. 208.

Поверхность нагрѣва F въ этомъ котлѣ принимается равною половинѣ его боковой поверхности, т. е. $F = \frac{1}{2} \pi DL$, откуда положивъ $L = k.D$.

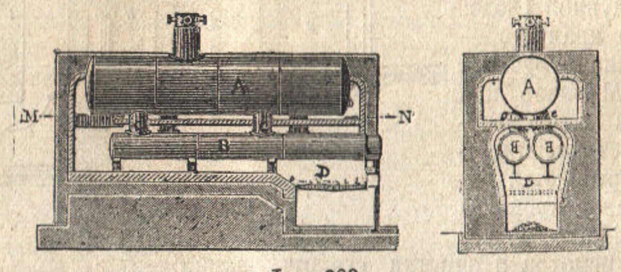
$$D = \sqrt{\frac{2F}{k\pi}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (72)$$

Длина котла дѣлается обыкновенно отъ 3 до 5 діаметровъ его. Принявъ $k = 5$ и замѣтивъ, что предѣльный діаметръ, по нашимъ законамъ, равенъ 1,21 м. (§ 232), получимъ наибольшую возможную величину поверхности нагрѣва: $F = \frac{1}{2}.\ 3{,}14.5.(1{,}21)^2 = 11{,}5$ кв. м. Принимая, что на каждомъ кв. м. поверхности нагрѣва испаряется 20 klg. воды (§ 230) въ часъ, найдемъ, что котелъ доставитъ въ часъ 230 klg. пару — количество вообще незначительное; поэтому такіе котлы могутъ служить только для машинъ малой силы.

237. Котелъ съ кипятильниками (Вульфа). Котелъ этого типа, представленъ на фиг. 209. A есть главный котелъ, подъ которымъ располагаютъ два, иногда три, меньшихъ котла B,B, соединенныхъ съ нимъ каждый двумя рукавами C,C и отдѣленныхъ отъ него кирпичною перегородкою. Топка D устраивается подъ котлами B,B. Продукты горѣнія идутъ сначала подъ этими послѣдними и затѣмъ уже заворачиваютъ подъ главный котелъ. При такомъ расположеніи самое сильное образованіе паровъ происходитъ

въ котлахъ В,В, какъ потому, что эти послѣдніе подвержены дѣйствію наиболѣе горячихъ газовъ, такъ и потому, что меньшая толщина стѣнокъ этихъ котловъ, способствуетъ болѣе быстрой передачѣ тепла отъ газовъ водѣ. На этомъ основаніи котлы В,В наз. *кипятильниками.*

Котелъ съ кипятильниками представляетъ, сравнительно съ предыдущимъ, большую поверхность нагрѣва и большее удобство въ отношеніи ремонта, такъ какъ наибольшей порчѣ здѣсь подвергаются кипятильники, которые не такъ дороги и могутъ быть легко замѣнены новыми, но онъ имѣетъ существенные недостатки: 1) соединеніе котла съ кипятильниками, которые больше нагрѣты и, слѣд., больше расширяются, очень скоро разстраивается: соединительные рукава перекашиваются и *даютъ течь;* 2) въ каж-



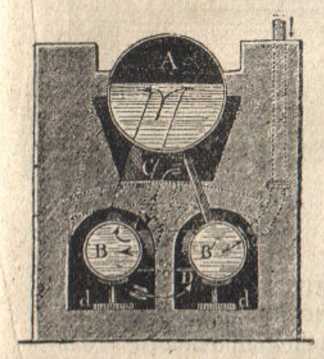
Фиг. 209.

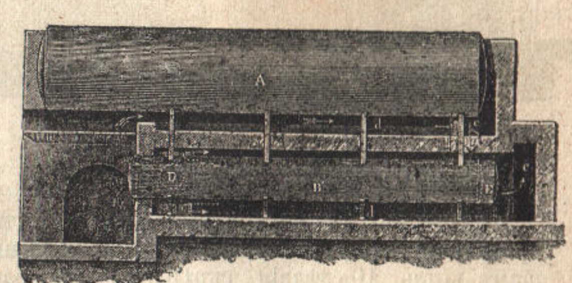
домъ котлѣ на днѣ мало по малу образуются осадки или *накипи* отъ постороннихъ примѣсей, содержащихся въ водѣ. Накипи уменьшаютъ теплопроводность стѣнокъ, а, слѣд., и полезное дѣйствіе котла. Въ котлахъ Вульфа самое сильное образованіе накипи происходитъ не въ главномъ котлѣ, а въ кипятильникахъ, очистка которыхъ неудобна по причинѣ ихъ малаго діаметра; 3) *выходъ пара* изъ кипятильниковъ *затруднителенъ:* паръ цѣлымъ слоемъ прилегаетъ къ стѣнкамъ кипятильниковъ, уменьшая ихъ теплопроводность; 4) котлы съ кипятильниками не имѣютъ хорошаго мѣста для *питанія.* Обыкновенно труба, ведущая холодную воду для питанія котла, проводится въ кипятильникъ, но при этомъ вода, понижая температуру въ кипятильникѣ, задерживаетъ парообразованіе.

238. Котелъ съ нагрѣвательными трубами (Фаркò) (фиг. 210). Главное отличіе этого котла отъ предыдущаго заключается въ томъ, что топка устраивается подъ большимъ котломъ А, который обладаетъ поэтому наибольшею паропроизводительностью. Въ подтрубкахъ В,В′, происходитъ главнымъ образомъ только подогрѣваніе воды. Поэтому трубы В,В′ наз. *нагрѣвательными.* Труба В соединена *однимъ рукавомъ* С съ главнымъ котломъ; вторая

соединена однимъ же рукавомъ съ первою; третья со второю и т. д. Продукты горѣнія, пройдя подъ главнымъ котломъ, заворачиваютъ къ первой нагрѣвательной трубѣ, затѣмъ ко второй и т. д. Питательная вода вводится въ послѣднюю трубу, въ которой происходитъ самое слабое парообразованіе. Какъ легко видѣть, въ этихъ котлахъ теченіе воды имѣетъ направленіе, *обратное* току горячихъ газовъ, вслѣдствіе чего въ котелъ переходитъ больше теплоты. Для облегченія движенія пара, трубамъ даютъ легкій *уклонъ* въ сторону теченія.

Котлы съ нагрѣвательными трубами, подобно котламъ съ кипятильниками, представляютъ значительную поверхность нагрѣва, но не имѣютъ ихъ недостатковъ. Называя буквами: D и L діаметръ и длину главнаго котла, d, l и n—діаметръ, длину и число нагрѣвательныхъ трубъ (или кипятильниковъ), и принимая, что по-





Фиг. 210.

верхность нагрѣва F котла равна половинѣ боковой поверхности главнаго котла + $^3/_4$ поверхности нагрѣвательныхъ трубъ или кипятильниковъ, будемъ имѣть: $F = \frac{1}{2}\pi DL + n\frac{3}{4}\pi dl$. Длина главнаго котла дѣлается отъ 3 до 5 D; діаметръ трубъ чаще всего равенъ радіусу котла, а длина равна длинѣ котла. Такимъ образомъ, при $n = 2$:

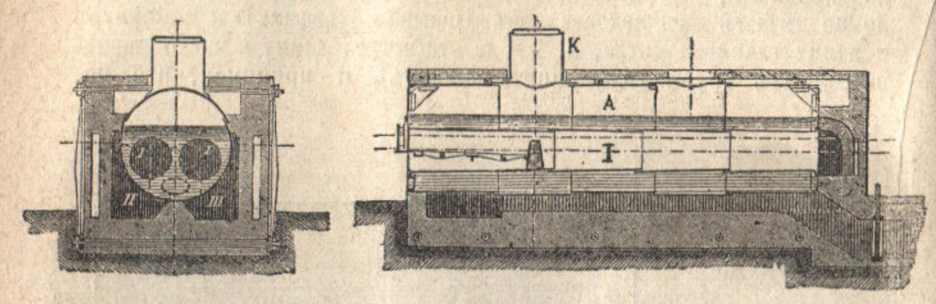
$$F = \frac{1}{2}\pi DL + 2\frac{3}{4}\cdot\pi\frac{D}{2}L = 1{,}25\,\pi DL \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (73)$$

При проектированіи котловъ задается расходъ Q klg. пара въ часъ и давленіе. Для котловъ Фарко принимаютъ $F = \frac{Q}{25}$ до $\frac{Q}{30}$ и строятъ котелъ съ однимъ подогрѣвателемъ при расходѣ 400—800 klg. пара въ часъ и съ 2 подогрѣвателями при расходѣ 600—1500 klg. пара въ часъ.

II. КОТЛЫ СЪ ВНУТРЕННИМЪ НАГРѢВОМЪ.

239. Корнваллійскій и ланкаширскій котлы. Увеличеніе поверхности нагрѣва достигается въ *англійскихъ* котлахъ тѣмъ, что внутри котла по длинѣ его укрѣпляютъ (отъ днища до днища) одну или двѣ большія трубы, въ которыхъ помѣщаются топка и первые дымоходы. Эти трубы наз. *жаровыми.*

На фиг. 211 представленъ въ продольномъ разрѣзѣ котелъ съ одною жаровою трубою или такъ наз. *корнваллійскій*, а въ поперечномъ разрѣзѣ—*ланкаширскій* котелъ, съ двумя жаровыми трубами.

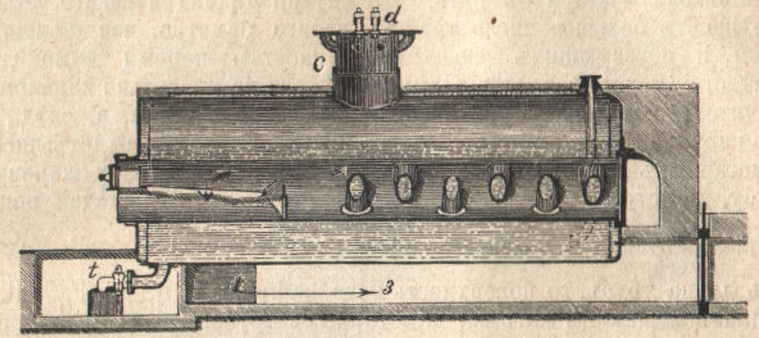


Фиг. 211.

А есть котелъ, внутри котораго проходитъ жаровая труба I, приклепанная при помощи круглыхъ угольниковъ къ плоскимъ днищамъ котла. Послѣднія скрѣплены для большей прочности угольниками съ верхнимъ листомъ котла. Для увеличенія сопротивленія сплющиванію жаровыхъ трубъ, подвергающихся здѣсь сильному наружному давленію, отдѣльныя звѣнья ихъ соединяются по способу Адамсона или Боулинга (§ 232). Въ каждой изъ жаровыхъ трубъ устраивается отдѣльная топка. Продукты горѣнія, миновавъ порогъ, проходятъ сначала по внутреннимъ трубамъ I, изъ которыхъ заворачиваютъ въ боковой дымоходъ II, затѣмъ, обогнувъ снизу переднюю часть котла, поступаютъ въ дымоходъ III, изъ котораго уходятъ уже въ трубу. Для возможности чистки боковыхъ дымоходовъ, въ передней стѣнкѣ котла оставляются окошки, которыя на время хода котла закладываются кирпичемъ. Пустоты, оставленныя въ кладкѣ по бокамъ и сверху котла, наполнены воздухомъ, который защищаетъ котелъ отъ охлажденія. Котлы эти сравнительно съ предыдущими занимаютъ мало мѣста и лучше утилизируютъ теплоту, ибо наиболѣе дѣятельная часть поверхности нагрѣва, такъ наз. *прямая поверхность нагрѣва* (получающая лучистую теплоту отъ раскаленныхъ углей) окружена водою. Поверхность нагрѣва ланкаширскаго котла принимается равною половинѣ

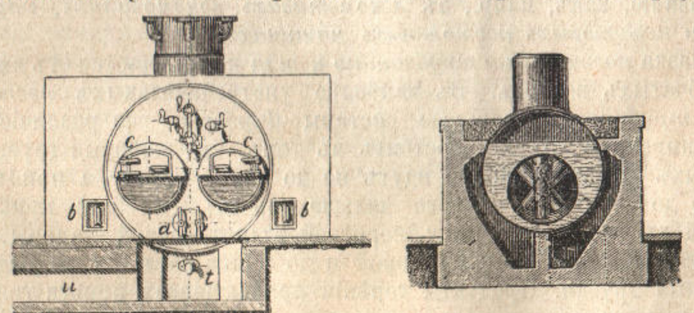
поверхности котла A, сложенной съ боковою поверхностью жаровыхъ трубъ, т. е. $F = \frac{1}{2}\pi DL + 2\pi dl$. Діаметръ d трубы корнвалл. котла дѣлается $= 0{,}55D$, а ланкаширскаго $0{,}35D$. Карнваллійскіе котлы строятся для расхода Q пара отъ 600 до 1000 klg. въ часъ, а ланкаширскіе отъ 1000 до 2000 klg. Для тѣхъ и другихъ принимаютъ $F = 0{,}05Q$.

240. Котелъ Галловея. (фиг. 212 и 213). Въ этомъ котлѣ внутри жаровыхъ трубъ укрѣпляются нѣсколько діаметральныхъ кони-



Фиг. 212.

ческихъ кипятильниковъ, наклоненныхъ въ разныя стороны, но всегда обращенныхъ широкими основаніями кверху для облегченія отдѣленія пара. Подобнымъ устройствомъ достигается значительное увеличеніе поверхности нагрѣва, а также энергическая циркуляція



Фиг. 213.

воды внутри котла, ибо передніе кипятильники заключаютъ наиболѣе нагрѣтую, переполненную пузырьками пара воду; сверхъ того, устройствомъ этихъ трубокъ увеличивается сопротивленіе жаровой трубы сплющиванію, тѣмъ не менѣе отдѣльныя звенья жаровой трубы соединяются по способу Адамсона или Боулинга.

На фиг. 213 c,c—суть топочныя дверцы жаровыхъ трубъ, a—

люкъ, герметически закрытый крышкою и служащій для прочистки и промывки котла, b,b—окошки, заложенныя кирпичемъ и служащія для очистки дымовыхъ ходовъ (боковыхъ) отъ сажи.

III. ТРУБЧАТЫЕ КОТЛЫ [1]).

241. Принципъ устройства. Сущность устройства трубчатыхъ котловъ заключается въ томъ, что внутри цилиндрическаго котла помѣщаютъ большое число трубокъ малаго діаметра, наз. *дымогарными* и образующихъ своею совокупностью первый дымоходъ. Вслѣдствіе такого раздѣленія дымоваго хода на нѣсколько каналовъ, значительно увеличивается поверхность нагрѣва котла, а, слѣд., и его паропроизводительность. На самомъ дѣлѣ, пусть n будетъ число дымогарныхъ трубокъ діаметромъ δ, замѣняющихъ одну жаровую трубу, діаметръ которой d, при условіи равенства площадей поперечныхъ сѣченій, т. е. при условіи: $\frac{\pi d^2}{4} = n\frac{\pi \delta^2}{4}$; или $d^2 = n\delta^2$. Если l есть длина трубъ, то поверхность нагрѣва трубы d будетъ $F = \pi dl$, а общая поверхность нагрѣва дымогарныхъ трубокъ будетъ $F' = n\pi\delta l$: слѣд., $F' = Fn\frac{\delta}{d} = Fn.\sqrt{\frac{1}{n}} = F\sqrt{n}$. Напр., замѣнивъ жаровую трубу 100 трубками, увеличимъ поверхность нагрѣва въ 10 разъ. Трубчатые котлы употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда, при незначительномъ объемѣ, отъ котла требуется значительное парообразованіе, какъ, напр., въ *локомотивахъ*, *локомобиляхъ*, *пароходахъ и нѣкоторыхъ постоянныхъ машинахъ*.

Вмазка *постояннаго трубчатаго котла* не отличается отъ вмазки нетрубчатыхъ котловъ. Въ наиболѣе употребительныхъ *постоянныхъ трубчатыхъ котлахъ* системы *Ферберна* все различіе отъ ланкаширскихъ котловъ состоитъ въ томъ, что жаровыя трубы, въ которыхъ устроены топки, идутъ не до конца котла, а приблизительно до середины (немного дальше порога), гдѣ онѣ прикрѣпляются къ плоскому днищу короткой эллиптической камеры, изъ противоположнаго днища которой и до конца котла идутъ уже дымогарныя трубки. Продукты горѣнія пройдя черезъ пороги топокъ, вступаютъ въ соединительную дымовую камеру, изъ которой направляются въ дымогарныя трубки, а изъ этихъ послѣднихъ поступаютъ въ боковые дымоходы.

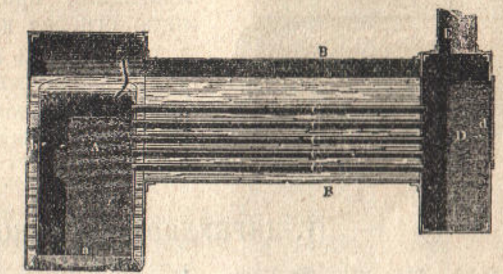
---

[1]) Изобрѣтателями этихъ котловъ считаются *Маркъ Сегенъ* (1827 г.) во Франціи и *Стифенсонъ* въ Англіи (1829 г.), хотя первенство безспорно принадлежитъ англ. *Барлоу*, взявшему патентъ на котелъ трубчатой системы еще въ 1793 г.

Для небольшихъ паровыхъ машинъ, употребляемыхъ въ мелкой промышленности, очень часто строятъ *вертикальные трубчатые котлы*, которые удобны тѣмъ, что занимаютъ мало мѣста и не требуютъ вмазки.

Матеріаломъ для дымогарныхъ трубокъ служитъ почти исключительно желѣзо (тянутыя желѣзныя трубки). Внутренній діаметръ трубокъ дѣлается отъ 4 до 5 сант. Общій недостатокъ трубчатыхъ котловъ состоитъ въ трудности очистки ихъ отъ котельнаго камня, который осѣдаетъ главнымъ образомъ на трубкахъ.

242. Локомотивный котелъ (фиг. 214). Паровозный котелъ состоитъ изъ слѣдующихъ частей: 1) A есть такъ наз. *внутренняя огневая камера*; она имѣетъ форму *прямоугольнаго параллелепипеда* и склепывается изъ мѣдныхъ листовъ, Въ ней помѣщается колосниковая рѣшетка a, на которую забрасывается горючій матеріалъ черезъ дверцы b. Камера A помѣщена внутри такъ наз. *наружной огневой камеры*, имѣющей также форму параллелепипеда, но склепанной изъ желѣзныхъ листовъ. Стѣнки обѣихъ камеръ скрѣплены такъ наз. *распорными* болтами. Промежутокъ между стѣнками камеръ наполненъ водою, которая при нормальномъ уровнѣ покрываетъ постоянно потолокъ или такъ наз. *нёбо* огневой коробки; 2) B есть *цилиндрическій корпусъ* котла, внутри котораго проходятъ дымогарныя трубки C,C... 3) D есть такъ наз. *дымовая камера*, несущая на себѣ дымовую трубу E. Дымогарныя трубки укрѣпляются однимъ концемъ въ передней стѣнкѣ огневой коробки, а другимъ—въ задней стѣнкѣ дымовой коробки. Продукты горѣнія, пройдя черезъ дымогарныя трубки, вступаютъ въ дымовую коробку, изъ которой вылетаютъ въ дымовую трубу E. *Необходимая тяга производится искусственно* выпусканіемъ въ дымовую трубу *мятаго пара*, при помощи особой трубы, представляющей продолженіе общаго паровыпускнаго канала паровыхъ цилиндровъ локомотива. Болѣе подробное описаніе устройства локомотивнаго котла будетъ дано въ статьѣ объ локомотивахъ.



Фиг. 214.

243. Пароходный котелъ (фиг. 215). Котелъ этотъ имѣетъ форму прямоугольнаго *параллелепипеда* и снабженъ внутреннею топкою. A есть колосниковая рѣшетка, a, a... дымогарныя трубки; C—дымовая труба, которая пронизываетъ какъ водяное, такъ и

паровое пространство и тѣмъ увеличиваетъ поверхность нагрѣва котла, имѣющую здѣсь, какъ и въ локомотивномъ котлѣ, значительную величину, благодаря тому, что почти вся огневая коробка окружена водою.

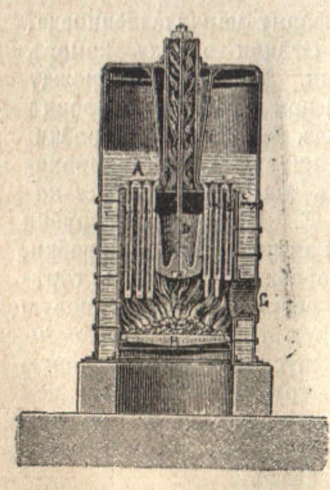


Фиг. 215.

Котлы этого типа строятся лишь *для средняго давленія* пара (отъ 2 до 3 атм.) и имѣютъ обыкновенно нѣсколько топокъ, расположенныхъ одна возлѣ другой. Надлежащая прочность котлу придана многочисленными тягами, связывающими противоположныя стѣнки котла; огневая камера скрѣплена, какъ въ паровозномъ котлѣ, распорными болтами съ наружными стѣнками котла. Котламъ *высокаго давленія* (отъ 4 до 8 атм.) придаютъ цилиндрическую форму.

IV. ЦИРКУЛЯЦІОННЫЕ КОТЛЫ.

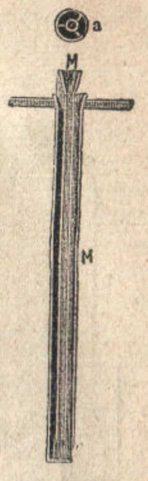
244. Котелъ Фильда. Циркуляціонные котлы представляютъ новѣйшую систему трубчатыхъ котловъ, отличающуюся отъ разсмотрѣнной выше тѣмъ, что у нихъ *трубки* (числомъ отъ 60 до 100 и болѣе) *наполнены водою* и окружены горячими газами, т. е. представляютъ систему небольшихъ (отъ 8 до 13 с.м. діам.) тонкостѣнныхъ (отъ 4 до 6 м.м.) кипятильниковъ, связанныхъ между собою и съ главнымъ котломъ.



Фиг. 216.

Фиг. 216 представляетъ въ вертикальномъ разрѣзѣ котелъ Фильда, нашедшій себѣ большое примѣненіе въ мелкой промышленности. Огневая камера, какъ и самый котелъ, имѣетъ форму вертикальнаго цилиндра и склепывается изъ желѣзныхъ листовъ. Въ серединѣ огневой коробки подвѣшенъ противъ устья дымовой трубы F пустотѣлый цилиндръ D, имѣющій назначеніе направить пламя и продукты горѣнія въ кольцевое пространство, образующееся между нимъ и боковыми стѣнками огневой коробки. Въ этомъ пространствѣ помѣщено большое число (до 100) вертикальныхъ тру-

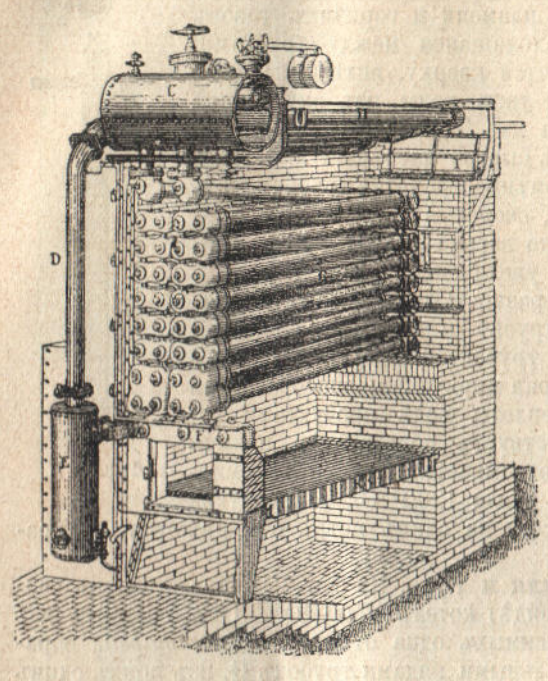
бокъ М. (фиг. 217) (прямыхъ или изогнутыхъ), укрѣпленныхъ къ нёбу огневой коробки и закрытыхъ снизу. Въ каждую трубку М вставлена другая трубка М′, открытая съ обоихъ концевъ. При дѣйствіи пламени и горячихъ газовъ на трубки М, вода, находящаяся между трубками, нагрѣвается и поднимается кверху, вслѣдствіе чего образуется непрерывный токъ воды изъ внутренней трубки въ наружную, а изъ послѣдней въ котелъ, при чемъ вода въ котлѣ быстро нагрѣвается. Съ момента, когда въ кольцевомъпространствѣ трубокъ начнетъ образоваться паръ, *скорость циркуляціи* почти мгновенно возрастаетъ до весьма значительной величины (около 3 м.). Это увеличеніе скорости обусловливается значительною разностью вѣса воды, находящейся во внутренней трубкѣ, и воды, наполняющей кольцевое пространство трубокъ и содержащей много пузырьковъ пара. Быстрая циркуляція способствуетъ усиленной передачѣ теплоты водѣ продуктами горѣнія, а также препятствуетъ образованію накипи въ трубкахъ. Опытъ показываетъ, что хотя температура въ топкѣ равна около 1200° С., температура въ трубѣ, отстоящей всего на одинъ метръ отъ рѣшетки, не превышаетъ 350°.



Фиг. 217.

245. Котлы Бельвиля и Рута. На фиг. 218 представленъ (частію въ разобранномъ видѣ) котелъ *Бельвиля.* Онъ состоитъ изъ нѣсколькихъ (5) независимыхъ одна отъ другой *баттарей*, образуемыхъ двумя вертикальными рядами трубокъ G, изъ коихъ одинъ рядъ (правый) наклоненъ слѣва направо, а другой—справа налѣво, такъ что каждая баттарея представляетъ родъ змѣевика (для облегченія циркуляціи воды). Каждая пара наклонныхъ въ разныя стороны трубокъ ввинчена съ одной и съ другой стороны въ небольшія чугунныя коробки, которыя снабжены отверстіями, закрытыми винтовыми пробками, для очистки трубокъ отъ накипи. Самая нижняя трубка каждой баттареи соединена съ общею *питательною трубкою*, идущею отъ резервуара Е; вода изъ этого резервуара вступаетъ въ питательную трубу, изъ которой поступаетъ въ самую нижнюю соединительную коробку, изъ этой послѣдней въ первую поднимающуюся слѣва направо трубку, изъ нея, черезъ правую соединительную камеру, во вторую трубку, поднимающуюся справа налѣво и т. д. Верхняя трубка каждой баттареи соединена при помощи коротќаго подтрубка съ *паропріемникомъ* С. Такой способъ питанія, обусловливая непрерывную циркуляцію воды, предупреждаетъ образованіе въ трубкахъ G котельнаго камня, который осаждается на днѣ собирателя Е. Топливо забрасывается черезъ дверцы F на колосниковую рѣшетку К. Продукты горѣнія

поднимаясь съ рѣшетки охватываютъ трубки со всѣхъ сторонъ и уходятъ черезъ регистръ въ дымовую трубу, отдавъ баттареямъ большую часть своей теплоты. Такъ какъ вслѣдствіе незначительнаго количества воды и быстраго парообразованія, котелъ даетъ очень *влажный паръ*, то пріемникъ C снабжается *водоловителями* (§ 231) и сверхъ того паръ, прежде поступленія въ машину, проводится по горизонтальному ряду зигзагообразныхъ трубокъ H, въ которыхъ онъ еще разъ нагрѣвается, при чемъ часть увлеченной имъ воды обращается въ паръ. Система подобныхъ трубокъ образуетъ такъ наз. *подогрѣватель* или *паросушитель*; въ настоящее время подобный паросушитель ставится и при котлахъ другихъ системъ—въ боровѣ. Въ случаѣ порчи или поломки трубы или соединительной камеры легко можетъ быть вынута вся баттарея, которой принадлежитъ поврежденная часть, при чемъ надо только устранить соединенія баттарей съ питательной и паропріемной трубами. Закрывъ затѣмъ отверстія этихъ трубъ, можно оставшуюся часть котла снова пустить въ ходъ.



Фиг. 218.

Въ котлахъ *Рута*, представляющихъ усовершенствованные котлы Бельвиля, *облегчено парообразованіе* тѣмъ *во-первыхъ*, что всѣ трубки баттарей наклонены въ одну сторону, и *во-вторыхъ* тѣмъ, что паръ изъ каждой трубы можетъ идти въ парособиратель, для чего концы ихъ соединены общею камерою. Сверхъ того въ котлахъ Рута облегчена *разборка баттарей* тѣмъ, что трубки не ввинчиваются въ сборныя камеры, а укрѣпляются посредствомъ набивочнаго, плотно притертаго кольца.

Въ циркуляціонныхъ котлахъ наибольшую часть поверхности нагрѣва составляетъ поверхность циркуляціонныхъ трубокъ, но вся

поверхность послѣднихъ представляетъ *прямую* [1]) поверхность нагрѣва; этимъ обстоятельствомъ объясняется также превосходная утилизація теплоты въ разсматриваемыхъ котлахъ. Циркуляціонные котлы *начинаютъ давать паръ уже черезъ 8—10 минутъ послѣ начала топки;* между тѣмъ какъ обыкновенные котлы требуютъ болѣе часа на растопку, а, слѣд., расходуютъ и больше топлива. Это обстоятельство имѣетъ важное значеніе въ котлахъ, дѣйствующихъ не постоянно, которые приходится часто растапливать, напр., въ котлахъ для паровыхъ пожарныхъ трубъ, локомобилей, пароходовъ и др. Быстрота развитія пара зависитъ отъ небольшаго запаса воды въ циркуляціонныхъ котлахъ—обстоятельство, которое дѣлаетъ эти котлы *безопасными* въ отношеніи взрыва. Дѣйствительно, хотя серьезное поврежденіе какой-либо части котла и можетъ причинить гибель вблизи находящимся людямъ, но никогда взрывъ котла не можетъ имѣть столь опустошительнаго характера, какъ взрывъ обыкновеннаго котла. Поэтому котлы Бельвиля нерѣдко ставятся на судахъ военнаго флота, ибо нигдѣ взрывъ котла не можетъ имѣть такихъ страшныхъ послѣдствій какъ на открытомъ морѣ.

Къ существеннымъ недостаткамъ этихъ котловъ относятся: скорое *прогораніе* трубокъ и въ особенности появленіе *течи* при малѣйшей неаккуратности въ сопряженіяхъ; необходимость очень правильнаго *питанія*, по причинѣ небольшаго запаса воды въ котлѣ, и при томъ чистою водою. такъ какъ чистка трубокъ по малости ихъ діаметра затруднительна.

246. Причины взрывовъ котловъ. Во время дѣйствія котла стѣнки его выдерживаютъ громадное давленіе заключеннаго въ немъ пара. Что это давленіе дѣйствительно огромное, видно изъ тѣхъ катострофъ, которыя сопровождаютъ «взрывъ» котла, при которомъ части его разлетаются на значительныя разстоянія, разрушая и уничтожая все на своемъ пути. Сила взрыва усугубляется еще тѣмъ обстоятельствомъ, что въ моментъ разрыва стѣнокъ, давленіе въ котлѣ вдругъ значительно падаетъ, вслѣдствіе чего почти мгновенно образуется огромное количество новаго пара, способствующаго ужаснымъ послѣдствіямъ взрыва котла.

Главнѣйшія причины взрывовъ котловъ суть: 1) *дурной матеріалъ* (листовое желѣзо) или *дурная работа* (небрежное сгибаніе, сверленіе, склепываніе и т. п.); *неправильность конструкціи котла* (напр. невозможность безпрепятственнаго расширенія котла отъ

[1]) *Прямою* поверхностью нагрѣва наз. та ея часть, которая приходится надъ колосниковою рѣшеткою и которая нагрѣвается не только теплотою горячихъ газовъ, но и лучистою теплотою раскаленныхъ углей. Понятно, что количество теплоты, получаемое каждою единицей прямой поверхности, значительно больше теплоты, получаемой *непрямою* поверхностью, которая нагрѣвается только продуктами горѣнія.

теплоты и т. п.); 2) *сильное изнашиванiе котла*, вслѣдствiе прогоранiя и образованiя ржавчины. 3) *накаливанiе стѣнокъ* вслѣдствiе недостатка воды или образованiя накипи; 4) чрезмѣрное *увеличенiе упругости пара*; 5) *удары* и *сотрясенiя*, ослабляющiя котелъ; поэтому недопускается на ходу котла чеканка швовъ (въ мѣстахъ течи), поправка заклепокъ ударами молотка и т. п. 6) *пожаръ* въ *котельномъ помѣщенiи* во время дѣйствiя котла. Пожаръ можетъ произойти вслѣдствiе неосторожности или самовосгоранiя угля (въ особенности содержащаго сѣру), опилокъ и т. п. Поэтому отнюдь не допускается храненiе большими кучами этихъ веществъ не только въ котельномъ помѣщенiи, но даже вблизи его. Если пожаръ начался, то для предупрежденiя взрыва должно открыть по возможности всѣ клапаны и прикрыть всѣ отверстiя (двери, окна), черезъ которыя можетъ вступать воздухъ въ помѣщенiе котла.

Примѣчанiе. Къ числу вѣроятныхъ причинъ взрывовъ причисляютъ также такъ наз. *перегрѣвъ воды* и *лейденфростово явленiе*. Первый заключается въ томъ, что при абсолютномъ покоѣ вода не даетъ пара, хотя нагрѣта до температуры, соотвѣтствующей внѣшнему давленiю; но при малѣйшемъ сотрясенiи образуется вдругъ огромное количество пара. Однако условiе абсолютнаго покоя едвали допустимо для пароваго котла. Лейденфростово же явленiе (*сфероидальное состоянiе воды.*) состоитъ въ томъ, что вода, прикоснувшись къ *раскаленнымъ* стѣнкамъ, отдѣляется отъ нихъ въ видѣ крупныхъ капель, окруженныхъ паровою оболочкою, но при малѣйшемъ сотрясенiи или охлажденiи мгновенно вся обращается въ паръ. Должно замѣтить однако, что раскаленное состоянiе стѣнки само по себѣ уже можетъ служить причиною взрыва (§ 228).

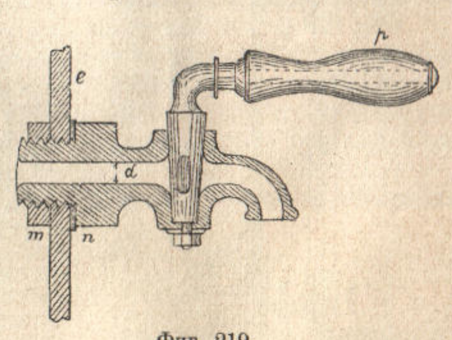
247. Проба котловъ. По закону, каждый котелъ передъ его употребленiемъ подвергается губернскимъ механикомъ пробѣ усиленныхъ гидравлическимъ давленiемъ, имѣющей цѣлью испытанiе какъ прочности постройки, такъ и доброкачественности матерiаловъ, изъ которыхъ сдѣланъ котелъ. Нагрузивъ предохранительные клапаны пробнымъ грузомъ, соотвѣтствующимъ *удвоенному* внутреннему давленiю (за вычетомъ атмосфернаго), допускаемемому при постоянной работѣ, т. е. 2 (n—1), накачиваютъ воду въ котелъ насосомъ, сходнымъ съ насосомъ гидравлическаго пресса, до тѣхъ поръ, пока клапаны не начнутъ подниматься со своихъ мѣстъ и вода не появится изъ ихъ отверстiй. Если при такой пробѣ котелъ не дастъ течи (внѣ швовъ), то онъ признается годнымъ къ употребленiю и снабжается клеймомъ съ обозначенiемъ допускаемой упругости паровъ (n), года, мѣсяца и дня пробы. Въ виду изнашиванiя и порчи котла съ теченiемъ времени, каждый котелъ, по закону, долженъ подвергаться пробѣ *черезъ каждые три года*, а также послѣ всякаго ремонта и перемазки котла въ другомъ мѣстѣ.

С. Арматура котловъ.

248. При каждомъ котлѣ должны быть слѣдующіе приборы и приспособленія: 1) для показанія уровня воды въ котлѣ; 2) для показанія упругости пара въ котлѣ; 3) для предупрежденія чрезмѣрнаго повышенія давленія пара; 4) для отвода пара изъ котла; 5) для питанія котла свѣжею водою; 5) для опоражниванія котла и 6) для очистки котла. Всѣ эти приборы составляютъ такъ наз. *арматуру* котла. Подъ именемъ же *гарнитуры* разумѣютъ дверцы топочныя и зольниковыя, наружную облицовку чугунными плитами и т. п.

Кромѣ перечисленныхъ выше необходимыхъ приборовъ и приспособленій многіе котлы снабжаются нѣкоторыми менѣе необходимыми приборами, служащими для спеціальныхъ цѣлей (напр., сигнальными свистками, устраиваемыми при аппаратахъ, указывающихъ на избытокъ или недостатокъ воды, чрезмѣрное повышеніе упругости пара и т. п.).

249. Пробные краны (фиг. 219). Простѣйшіе приборы, служащіе для показанія уровня воды въ котлѣ суть *пробные краны* или *клапаны*. При каждомъ котлѣ имѣются обыкновенно два бронзовыхъ крана (иногда три). Нижній кранъ помѣщается на высотѣ водяной черты (§ 230), т. е. на 10 с. выше пламенной черты, а верхній — на 10 с. выше нижняго. Горизонтъ воды въ котлѣ во время дѣйствія его долженъ быть постоянно между этими кранами, такъ что нижній кранъ при открываніи его долженъ давать всегда воду, а верхній— паръ. Если имѣется третій кранъ, то онъ располагается на высотѣ средняго уровня. Краны ввинчиваются въ днище котла и затягиваются изнутри гайкою; для герметичности нарѣзка крана смазывается суриковою краскою, а между флянцами крана и днищемъ котла помѣщается прокладка свинцовая или мѣдная. Рукоятка снабжена деревянною оболочкою. Для смазки крановъ служитъ мазь изъ $^2/_3$ ч. сала и $^1/_3$ ч. каучука; она служитъ, не высыхая 4—6 недѣль. Нерѣдко пробные краны и другіе указательные приборы укрѣпляются на особой цилиндрической коробкѣ, привернутой къ переднему днищу котла.

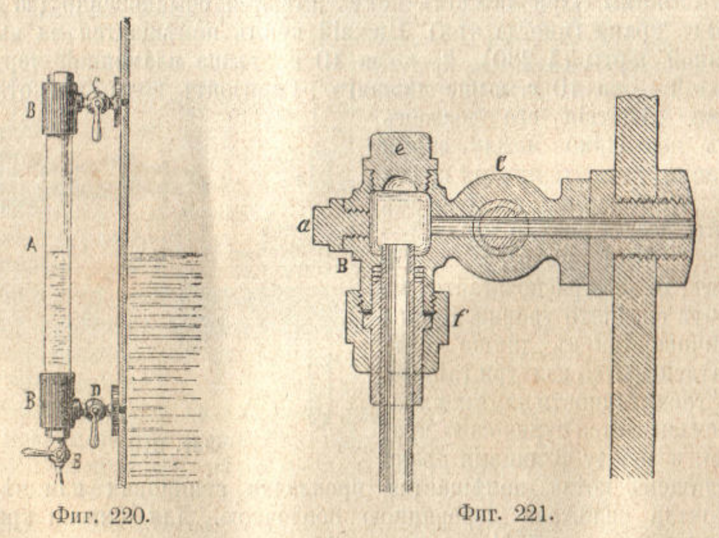


Фиг. 219.

Время отъ времени краны поочередно открываютъ, причемъ черезъ верхній кранъ долженъ выдѣляться паръ, черезъ нижній—вода.

Должно замѣтить, однако, что только опытный глазъ и ухо привычнаго кочегара могутъ безъ ошибки опредѣлить вытекаетъ-ли паръ или вода, потому что струя воды, въ особенности при высокомъ давленіи пара, будучи сильно нагрѣта, превращается почти мгновенно по выходѣ изъ крана въ паръ; а паръ, на оборотъ, по выходѣ изъ своего крана, почти мгновенно конденсируется. Но опытный кочегаръ знаетъ, что если при этомъ звукъ, сопровождающій выходъ струи изъ верхняго и нижняго крановъ, явственно различенъ, то это значитъ, что изъ нижняго крана выходитъ вода, а изъ верхняго паръ; если же звукъ одинаковъ, то изъ обоихъ крановъ вытекаетъ либо паръ, либо вода. Изъ сказаннаго ясно, что сами по себѣ краны, какъ единственные водоуказательные приборы недостаточны; они служатъ обыкновенно для провѣрки показаній водомѣрнаго стекла.

250. Водомѣрное стекло (фиг. 220). Оно служитъ для точнаго указанія уровня воды въ котлѣ. Главную часть прибора составляетъ открытая стекляная трубка A, длиною около 16 с. и діам. около 1,5 с., вставленная своими концами въ бронзовыя оправы B, B, которымъ даютъ устройство, сходное съ устройствомъ сальниковъ (f, фиг. 221). Оправы соединены съ котломъ при помощи



Фиг. 220. Фиг. 221.

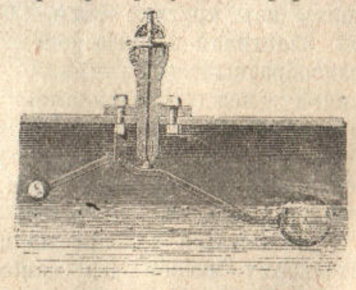
бронзовыхъ же трубокъ: верхняя съ паровымъ пространствомъ, нижняя съ водянымъ. Трубка отчасти наполнена водою, которая поднимается въ ней до уровня въ котлѣ. *Водяная черта должна быть обозначена на стеклѣ или на днищѣ котла красною краскою.* Соединительныя трубки и нижняя оправа снабжены кранами C, D и E, изъ которыхъ C и D при дѣйствіи котла постоянно от-

крыты. Отверстія, закрываемыя винтовыми пробками a, служатъ для прочистки соединительныхъ трубокъ C и D (фиг. 221). Черезъ отверстіе e, закрываемое подобною же винтовою пробкою, вставляется, вынимается (въ случаѣ поломки) и прочищается стекло, даже на ходу котла, для чего закрываютъ предварительно краны C и D. Подъ гайки a и e для герметичности подкладываютъ *азбестовыя* колечки, а для сальниковъ f набивкою служатъ каучуковыя или азбестовыя колечки. При такомъ устройствѣ удлиненіе и укороченіе трубки совершается свободно.

Уровень воды въ трубкѣ постоянно колеблется и тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ сильнѣе кипѣніе воды въ котлѣ. Если уровень воды въ трубкѣ остается долгое время неподвижнымъ, то это есть признакъ засоренія трубки. Чтобы убѣдиться въ этомъ, открываютъ на нѣсколько секундъ и снова закрываютъ кранъ E, при чемъ, если трубка чиста, вода должна подняться въ ней совершенно точно на прежнюю высоту. Во время прочистки трубокъ C или D (изогнутою подъ прямымъ угломъ проволокою) должно постепенно открывать краны C или D. Кранъ E служитъ также для прочистки стекла на ходу котла (для *продувки*), нѣсколько разъ на дню, при чемъ закрываютъ кранъ D и открываютъ C.

При наблюденіи за стекломъ должно обращать особенное вниманіе на то обстоятельство, чтобы верхній сальникъ и пробки не пропускали пара, потому что въ такомъ случаѣ вода въ трубкѣ поднимется выше уровня въ котлѣ въ которомъ можетъ оказаться недостатокъ воды, между тѣмъ какъ стекло можетъ показывать даже избытокъ ея. Въ случаѣ *поломки* стекла отъ какой либо причины должно прежде всего осторожно закрыть нижній кранъ D, а затѣмъ и верхній; отвинтивъ затѣмъ гайки f, вставляютъ запасное стекло; для предупрежденія поломки новаго стекла его слѣдуетъ осторожно сообщать съ котломъ, открывъ сначала верхній кранъ C и то постепенно.

251. Сигнальный поплавокъ. Предыдущіе приборы требуютъ непрерывнаго вниманія со стороны кочегара, малѣйшая небрежность котораго можетъ повести къ взрыву котла. Поэтому котлы нерѣдко снабжаютъ автоматическими приборами, извѣщающими кочегара свисткомъ объ опасномъ положеніи уровня воды въ котлѣ. Сигнальный поплавокъ (фиг. 222) удовлетворяетъ вполнѣ этой цѣли. Онъ состоитъ изъ полаго шара A, укрѣпленнаго на одномъ концѣ рычага 1-го рода ABC, на другомъ концѣ котораго укрѣпленъ противовѣсъ C. Близъ оси B на длинномъ плечѣ рычага укрѣпленъ коническій клапанъ a, который держитъ закрытою трубку b, привинченную къ котлу, все время, пока горизонтъ воды въ котлѣ не ниже нор-



Фги. 222.

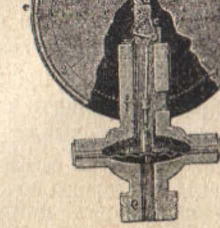
мальнаго уровня. Но какъ только уровень понизится за нормальный, поплавокъ и клапанъ тотчасъ опустятся, и паръ, устремляясь въ трубку b, дастъ кочегару сигнальный свистокъ.

252. Манометры. *Манометрами* наз. приборы, показывающіе давленіе пара въ котлѣ. Показанія манометровъ даютъ возможность кочегару поддерживать правильный огонь въ топкѣ, наблюдая, чтобы давленіе пара сохраняло нормальную величину. Въ настоящее время при паровыхъ котлахъ употребляются исключительно металлическіе манометры, изъ которыхъ мы опишемъ два наиболѣе употребительные: трубчатый манометръ *Бурдона* (1849) и коробчатый *Шеффера—Буденберга*.

Манометръ Бурдона (фиг. 223) состоитъ изъ согнутой въ спираль латунной трубки ABC эллиптическаго сѣченія, сообщающейся однимъ концемъ (C) при посредствѣ изогнутой *сифономъ* трубки, содержащей воду, съ паровымъ пространствомъ котла и запаянной съ другаго конца (A). Къ концу A прикрѣплена стрѣлка, движущаяся по шкалѣ H, дѣленія которой выражаютъ давленіе пара въ атмосферахъ, килограммахъ или фунтахъ. Если упругость пара остается постоянною, то стрѣлка стоитъ неподвижно на дѣленіи, соотвѣтствующемъ давленію пара. При увеличеніи упругости трубка ABC разгибается, причемъ стрѣлка движется вправо; при уменьшеніи же давленія происходитъ обратное. Этотъ манометръ очень простъ, не дорогъ и очень чувствителенъ; но со временемъ чувствительность его уменьшается и потому необходимо отъ времени до времени провѣрять его дѣленія.



Фиг. 223.



Фиг. 224.

Манометръ Шеффера—Буденберга (фиг. 224) состоитъ изъ круглой стальной пластинки a, имѣющей волнообразный видъ и укрѣпленной между фланцами двухъ трубокъ e и f, изъ которыхъ первая сообщается съ котломъ. Паръ, устремляясь по этой трубкѣ, прогибаетъ пластинку a, движеніе которой передается при помощи зубчатаго сектора c и шестерни d стрѣлкѣ манометра.

Для намѣтки дѣленій на циферблатѣ прикрѣпляютъ къ нагнетательному насосу два манометра — испытуемый и *контрольный* (ртутный) и накачиваютъ воду подъ различными давленіями, причемъ и намѣчаютъ дѣленія на испытуемомъ манометрѣ, согласно показаніямъ контрольнаго. Обыкновенно дѣленія наносятся такимъ

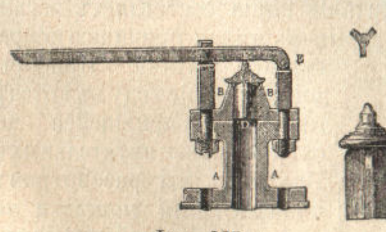
образомъ, что цифры шкалы даютъ давленія пара въ котлѣ за вычетомъ атмосфернаго (n—1)—въ атмосферахъ (1 атм. = 1 klg. на кв. с.) или въ англійскихъ фунтахъ на кв. дюймъ (1 атм. = 15 англ. ф. на кв. д., или 16,29 рус. ф. на кв. д.); на такомъ циферблатѣ дѣленія начинаются отъ нуля. По *французской системѣ*, цифры шкалы даютъ полное давленіе пара въ котлѣ, безъ вычета атмосфернаго; такая шкала не имѣетъ нуля, а начинается съ 1. *На всякой шкалѣ*, по закону, *наибольшее допускаемое давленіе пара должно быть обозначено красною чертою.*

Повѣрка манометра. Манометръ исправенъ, если: 1) стрѣлка его *играетъ*, т. е. плавно колеблется взадъ-впередъ; 2) стрѣлка медленно отходитъ до нуля, если закрыть паровпускной кранъ (*повѣрка на нуль*) и снова занимаетъ прежнее положеніе, если открыть кранъ; 3) стрѣлка показываетъ максимальное давленіе одновременно съ тѣмъ, какъ начнетъ *парить* предохранительный клапанъ.

Примѣчаніе. Трубка, сообщающая манометръ съ котломъ, загибается сифономъ, въ которомъ собирается конденсаціонная вода (*водяной мѣшокъ*), съ тою цѣлью, чтобы паръ передавалъ давленіе спирали манометра не непосредственно, а при помощи этой воды (болѣе или менѣе холодной), чѣмъ предупреждается сильное нагрѣваніе прибора.

253. Предохранительный клапанъ [1]). Упругость пара въ котлѣ не должна превышать наибольшей допускаемой величины. Для предупрежденія излишняго повышенія давленія, при каждомъ котлѣ должны находиться приборы, которые автоматически должны выпускать излишекъ пара въ атмосферу, въ случаѣ, когда, по какой либо причинѣ (напр. во время короткихъ остановокъ), количество пара, образующагося въ котлѣ, превышаетъ его расходъ. Самые употребительные изъ этихъ приборовъ суть *предохранительные клапаны.*

На фиг. 225 показано общее устройство предохранительнаго клапана. Основаніемъ его служитъ чугунный стаканъ A, къ которому привинчивается такъ наз. *сѣдло* клапана B, плотно прикрытое сверху *клапаномъ* CD. Послѣдній обыкновенно имѣетъ форму тарелки и снабженъ 3 или 4 ребрами, плотно скользящими въ сѣдлѣ и служащими для *направленія* движенія клапана по оси прибора. На клапанъ опирается рычагъ 2-го рода EFH, вращающійся около оси E и нагруженный на свободномъ концѣ соотвѣтственно максимальной упругости пара. При до-



Фиг. 225.

[1]) Предохранительный клапанъ изобрѣтенъ *Денисомъ Папеномъ* въ 1621 г.

стиженіи этой упругости клапанъ открывается, поднимая рычагъ съ грузомъ, и даетъ выходъ излишнему пару.

Называя буквою P давленіе пара на клапанъ, равное, за вычетомъ атмосфернаго: $\frac{\pi d^2}{4}$ n. 1,0334 — $\frac{\pi d_1^2}{4}$. 1,0334=1,0334 $\frac{\pi}{4}$ $(nd^2-d_1^2)$, гдѣ n, d и d_1 означаютъ наибольшую допускаемую упругость пара въ атм. и діаметры клапана: внутренній и наружный; буквою Q вѣсъ груза G, буквами: L, l и ρ, грузовое плечо, плечо давленія пара и радіусъ оси рычага, f коэфф. тренія въ оси, наконецъ, q_1 и l_1 — вѣсъ рычага и плечо вѣса, получимъ, пренебрегая вѣсомъ клапана, для равновѣсія рычага уравненіе моментовъ: $Pl - QL - q_1l_1 - (P - Q - q_1)\,f\rho = 0$, откуда:

$$Q = \frac{P\,(l - f\rho) - q_1(l_1 - f\rho)}{L - f\rho}.$$

Вѣсъ груза Q повѣряется при гидравлической пробѣ.

Въ локомотивахъ, подверженныхъ на ходу качкѣ и сотрясеніямъ грузъ G замѣняется *пружиной*, одинъ конецъ которой прикрѣпляется къ концу рычага, а другой къ котлу.

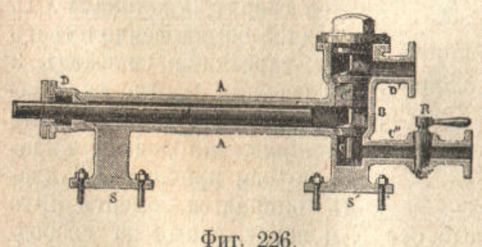
Что касается внутренняго діаметра d клапана, то, по закону, онъ долженъ быть опредѣленъ по слѣдующей эмпирической формулѣ:

$$d = 0{,}316\sqrt{\frac{F}{n-0{,}412}}\ \text{дюйм.} \quad . \quad . \quad . \quad (74)$$

гдѣ F есть поверхность нагрѣва въ кв. ф. и n—упругость пара въ атмосферахъ. Площадь прикосновенія клапана къ сѣдлу, равная $\frac{\pi}{4}\,(d_1^2 - d^2)$ не должна быть слишкомъ велика, во избѣжаніе *прилипанія* клапана; она не должна быть (по закону) больше 0,05 площади отверстія клапана. При каждомъ котлѣ должно быть два предохранительныхъ клапана.

Для поддержанія легкой подвижности предохранительнаго клапана его слѣдуетъ ежедневно, по крайней мѣрѣ одинъ разъ, продувать, осторожно поднимая и опуская рычагъ. При отсутствіи подобной продувки клапанъ легко можетъ *запѣсться*, т. е. крѣпко засѣсть въ сѣдлѣ.

254. Питательный насосъ. Питаніе котла составляетъ весьма важный вопросъ: болѣе половины взрывовъ имѣли причиною неправильное питаніе. Приборы, доставляющіе воду въ котелъ, взамѣнъ испарившейся, носятъ названіе питательныхъ. Изъ нихъ мы разсмотримъ: *питательный насосъ* и *инжекторъ*. Устройство питательнаго насоса весьма разнообразно. Насосъ, представленный на фиг. 226 состоитъ изъ цилиндра или стакана A, ось котораго располагается параллельно оси пароваго цилиндра. Насосъ прикрѣпляется къ станинѣ



Фиг. 226.

машины при помощи болтовъ, пропущенныхъ черезъ лапы s,s. Въ стаканѣ A движется поршень M, наз. *ныряломъ* и представляющій тщательно обточенный цилиндрическій стержень, пропущенный черезъ *сальникъ* D, снабженный пеньковою или кожаною *набивкою*, предупреждающею просачиваніе воды. Діаметръ ныряла дѣлается нѣсколько меньше діаметра насоснаго цилиндра для избѣжанія тренія перваго о послѣдній.

Ныряло M получаетъ движеніе непосредственно отъ штока пароваго поршня. Въ другихъ насосахъ ныряду сообщается движеніе отъ *эксцентрика*, насаженнаго на главный валъ машины, а въ машинахъ съ коромысломъ — отъ этого послѣдняго. Цилиндръ A отлитъ за одно съ *клапанной коробкою* B, въ которой помѣщены два клапана C и C'. Первый наз. *всасывающимъ*, потому что черезъ него происходитъ *всасываніе* или забираніе воды изъ колодца или другаго резервуара по всасывающей трубѣ C'', а второй—*нагнетательнымъ*: черезъ него вода накачивается въ котелъ. Въ трубѣ C'' помѣщенъ кранъ R, который устанавливаетъ или прекращаетъ сообщеніе насоса съ резервуаромъ питательной воды [1]). Когда кранъ R закрытъ—насосъ не дѣйствуетъ; но если кранъ открытъ, то при движеніи ныряла влѣво позади его образуется разрѣженное пространство; наружное давленіе заставляетъ воду постепенно, съ каждымъ размахомъ, подниматься выше и выше по всасывающей трубѣ. Послѣ нѣсколькихъ размаховъ вода, поднявъ всасывающій клапанъ C, начинаетъ наполнять цилиндръ A. При движеніи поршня слѣва направо клапанъ C закрывается, и вода, поднявъ нагнетательный клапанъ C' вступаетъ въ котелъ по нагнетательной трубѣ D'.

Питательные насосы бываютъ *ручные* и *приводные* — отъ главной машины (s, фиг. 286) или отъ самостоятельной небольшой паровой машинки. Послѣднія встрѣчаются преимущественно при сильныхъ машинахъ (напр. на военныхъ пароходахъ) и носятъ названіе *донокъ* (petit cheval), а первые служатъ какъ *запасные*, на случай порчи приводнаго насоса, а также для *наполненія* котла передъ растопкою.

Питательный насосъ всегда дѣлается *одиночнаго* дѣйствія: *онъ нагнетаетъ воду только въ теченіе одного размаха ныряла*; но вѣсъ воды, накачиваемой при этомъ насосомъ, долженъ быть равенъ вѣсу пара, расходуемаго машиною въ теченіе двойнаго размаха пароваго поршня. Обыкновенно устраиваютъ насосъ *съ за-*

---

[1]) Весьма часто кранъ R помѣщаютъ между клапанами, противъ ныряло; такой кранъ не только допускаетъ періодичность дѣйствія насоса, при непрерывномъ дѣйствіи машины, но и служитъ для повѣрки правильности дѣйствія насоса; если насосъ исправно работаетъ, то при нагнетательномъ движеніи ныряла онъ дастъ, черезъ открытый кранъ, сильную струю воды; отсутствіе струи или прерывистость ея укажутъ на неисправность насоса напр. неплотность всасывающаго клапана).

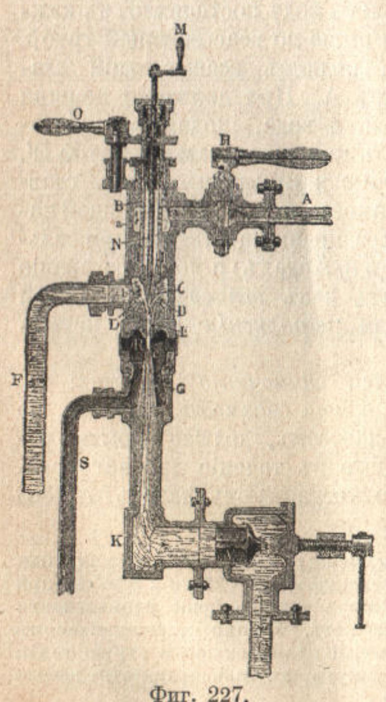
пасомъ, разсчитывая его на количество воды, *вдвое* большее количества расходуемаго машиною пара. Такой насосъ, конечно, долженъ дѣйствовать не непрерывно: по временамъ его должно прiостанавливать, закрывая кранъ R.

Пусть машина расходуетъ W килограммовъ пара въ сек. и дѣлаетъ m оборотовъ въ минуту; тогда объемъ воды, который долженъ быть доставленъ насосомъ въ котелъ въ теченiе одного оборота будетъ равенъ: $Q = \frac{W}{1000} \cdot \frac{60}{m}$ куб. м. Замѣтимъ, что хотя закрыванiе всасывающаго клапана происходитъ весьма быстро, однако часть воды успѣетъ пройти обратно во всасывающую трубу. Потеря воды, какъ показываетъ опытъ, составляетъ около 15% объема поднимаемой насосомъ воды. Поэтому объемъ насоса будетъ:

$$V = 0{,}85 \frac{\pi d^2}{4} 1 = 2 \frac{60W}{1000m} = 0{,}12 \frac{W}{m} \text{ куб. м.} \quad . \quad . \quad (75)$$

Изъ этого равенства опредѣлится по данному ходу 1 дiаметръ d ныряла. Весьма нерѣдко въ практикѣ при разсчетѣ питательнаго насоса принимаютъ, что объемъ, описываемый ныряломъ въ одинъ ходъ, составляетъ отъ $\frac{1}{180}$ до $\frac{1}{240}$ объема, описываемаго поршнемъ въ одинъ размахъ, и по этому условiю опредѣляютъ дiаметръ ныряла.

255. Инжекторы. Подъ именемъ *инжекторовъ* извѣстны пароструйные питательные насосы. Они бываютъ двухъ родовъ: 1) *всасывающiе*, которые могутъ забирать воду снизу и затѣмъ гнать ее въ котелъ и 2) *напорные*, могущiе только гнать въ котелъ воду, притекающую къ нимъ подъ нѣкоторымъ напоромъ.



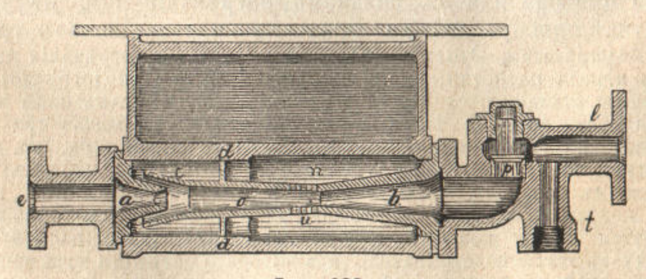
Фиг. 227.

На фиг. 227 изображенъ всасывающiй инжекторъ, изобрѣтенный въ 1859 г. фр. инж. Жиффаромъ. Инжекторъ замѣчателенъ тѣмъ, что онъ дѣйствуетъ какъ насосъ, не имѣя ни одной движущейся части. Вода всасывается и нагнетается въ котелъ струею пара, поступающаго въ инжекторъ изъ того же котла по трубкѣ A, снабженной краномъ H. Пройдя кранъ H, паръ проникаетъ черезъ отверстiя a,a... внутрь трубки B, изъ которой выходитъ съ огромною скоростью черезъ коническiй наконечникъ ея C, пройдя по кольцеобразному промежутку, образующемуся между острiемъ стержня N и наконечникомъ C. Въ началѣ дѣйствiя инжектора конусъ

стержня N почти вплотную вдвинутъ въ свое гнѣздо, такъ что паръ выходитъ черезъ съуженное отверстіе C тонкою струю. Струя эта, вступивъ въ камеру D, выгоняетъ заключенный въ ней воздухъ черезъ *продувательную* трубки S, причемъ паръ конденсируется на холодныхъ стѣнкахъ инжектора. Вслѣдствіе этого въ послѣднемъ (и во всасывающей трубѣ F) образуется разрѣженное пространство: вода всасывается въ инжекторъ по трубкѣ F, но тотчасъ же выходитъ изъ него по трубкѣ S. Какъ только показалась вода изъ этой трубки, открываютъ вполнѣ отверстіе C, для чего вывинчиваютъ стержень N при помощи рукоятки M изъ его гайки, нарѣзанной въ верхней части трубки B. Подъ давленіемъ непрерывной струи пара вода съ большою скоростью вгоняется изъ камеры D по каналу E въ расширяющійся коническій каналъ G, по которому она движется съ постепенно уменьшающеюся скоростью, но съ возрастающимъ давленіемъ (§131), и вступаетъ въ клапанную коробку K, а изъ нея, преодолѣвъ давленіе въ котлѣ, вступаетъ въ этотъ послѣдній черезъ клапанъ V—по питательной трубѣ L. Что касается регулированія количества всасываемой воды, то оно основано на большемъ или меньшемъ сближеніи наконечника C и канала E, которое достигается вращеніемъ винта O въ ту или другую сторону. Высота всасыванія не должна превосходить 4 м. Всѣ части прибора, за исключеніемъ стержня N, бронзовыя.

Конденсація пара въ камерѣ D оказываетъ существенное вліяніе на всасываніе воды въ инжекторъ. *При очень высокой* температурѣ всасываемой воды, недопускающей полнаго охлажденія пара, *инжекторъ не дѣйствуетъ*. Температура всасываемой воды должна быть тѣмъ ниже, чѣмъ выше упругость пара; такъ при давленіи пара: 1,5; 2; 2,5; 3; 6 атм., температура воды должна быть не больше 52°; 47°; 43°; 40°; 35°.

Напорный инжекторъ, употребляемый главнымъ образомъ при локомотивахъ, представленъ на фиг. 228. Онъ отличается отъ пре-



Фиг. 228.

дыдущаго тѣмъ, что не имѣетъ регулирующаго стержня N. Главныя части его составляютъ бронзовая воронка и двуконусная трубка

ob, помѣщенныя внутри чугунной или латунной коробки d, раздѣленной на двѣ камеры c и n перегородкою dd, отлитою за одно съ трубкою ob. Вода изъ тендера вступаетъ подъ напоромъ въ лѣвую камеру c (водоприводная трубка на чертежѣ не показана), изъ которой переходитъ въ трубку o, а изъ этой послѣдней черезъ отверстія *u* вступаетъ въ камеру n; изъ камеры n вода выходитъ наружу по продувательной трубкѣ (на чертежѣ не показанной). Какъ только появилась вода изъ продувательной трубки, впускаютъ паръ изъ котла въ инжекторъ по трубкѣ e, подъ давленіемъ котораго вода пойдетъ въ котелъ черезъ клапанъ p. Трубка t служитъ для выпуска воды изъ нагнетательной трубы.

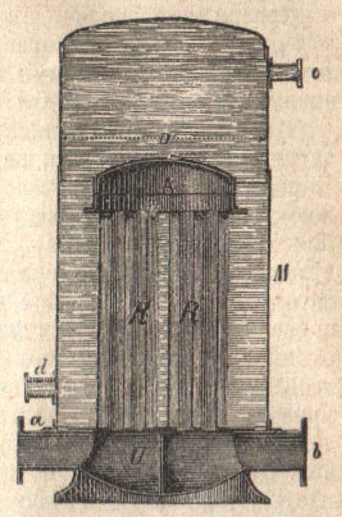
Весьма замѣчательны *двойные инжекторы Кертинга*, наз. также *универсальными*, состоящіе изъ двухъ, заключенныхъ въ одной и той же коробкѣ, инжекторовъ, изъ коихъ одинъ (меньшаго размѣра) всасываетъ воду, а другой нагнетаетъ ее въ котелъ. Инжекторы Кертинга допускаютъ всасываніе воды, нагрѣтой до 70°C.

Какъ показываютъ опыты, инжекторъ затрачиваетъ на питаніе котла работы (въ видѣ теплоты) болѣе, нежели обыкновенные насосы. Если принять въ соображеніе, что теплота, расходуемая инжекторомъ, тратится не только на механическую работу, необходимую для подъема и нагнетанія воды, но и на нагрѣваніе послѣдней, то окажется, что полезное дѣйствіе инжектора выше полезнаго дѣйствія обыкновенныхъ насосовъ. Должно замѣтить, однако, что это преимущество инжектора сохраняется только для тѣхъ случаевъ, когда нагнетаемая вода должна быть потомъ нагрѣта, какъ напр. въ паровыхъ котлахъ. Въ обратномъ случаѣ инжекторъ невыгоденъ: вся теплота, сообщенная имъ водѣ, составляетъ потерю. Инжекторы даютъ возможность питать котелъ не только во время хода машины, но и *во время остановокъ*, что особенно важно для локомотивовъ и пароходовъ. Случается, что инжекторъ не гонитъ воду—*отказываетъ*. Причина отказа можетъ заключаться или въ засореніи прибора или въ сильномъ нагрѣваніи его; въ послѣднемъ случаѣ приборъ должно охлаждать снаружи мокрою тряпкою.

256. Подогрѣватель. Этотъ приборъ служитъ для подогрѣванія питательной воды передъ нагнетаніемъ ея въ котелъ. Выгоды подогрѣванія питательной воды заключаются: 1) въ *сбереженіи топлива*, такъ какъ вода нагрѣвается почти до 90°C; 2) въ *уменьшеніи охлажденія котла* при питаніи свѣжею водою; 3) въ *доставленіи въ котелъ болѣе чистой воды*, изъ которой значительная часть примѣсей успѣваетъ выдѣлиться въ подогрѣвателѣ.

Въ своемъ простѣйшемъ видѣ подогрѣватель представляетъ горизонтальный желѣзный цилиндръ, помѣщаемый въ особомъ дымоходѣ, который устраивается между котломъ и боровомъ. Питательный насосъ накачиваетъ воду въ этотъ подогрѣватель, изъ котораго нагрѣтая вода поступаетъ по особой трубѣ въ котелъ. Болѣе экономиченъ подогрѣватель (*экономайзеръ*) *Грина*, состоящій изъ большаго числа вертикальныхъ чугунныхъ трубокъ (до 100 и болѣе, діам. 10 с.), соединенныхъ между собою какъ вверху, такъ и внизу. По этимъ трубкамъ протекаетъ питательная вода передъ входомъ въ котелъ.

На фиг. 229 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ особаго рода подогрѣватель, въ которомъ вода нагрѣвается отработавшимъ (*мятымъ*) паромъ машины. Онъ состоитъ изъ желѣзнаго кожуха *M*, привинченнаго къ чугунной камерѣ *U*, раздѣленной перегородкою на двѣ части, и системы вертикальныхъ трубокъ R, укрѣпленныхъ къ той же камерѣ *U*. Паръ устремляется изъ машины въ лѣвое отдѣленіе камеры по трубкѣ a, поднимается по лѣвой группѣ трубокъ въ камеру *K*, изъ которой выходитъ по правой системѣ трубокъ R и трубѣ b наружу. Питательная вода изъ насоса поступаетъ въ подогрѣватель по трубкѣ d, а изъ него въ котелъ по трубѣ c.



Фиг. 229.

При паровыхъ машинахъ съ холодильникомъ нѣтъ надобности въ особомъ подогрѣвателѣ, такъ какъ питательная вода берется изъ холодильника, въ которомъ она нагрѣта уже до 45°.

257. Паровой куполъ; лазъ и люки; паропроводныя трубы. Паръ всегда уноситъ съ собою изъ котла нѣкоторое количество воды, въ видѣ мелкихъ брызгъ, отдѣляющихся при кипѣніи. Въ машинахъ безъ расширенія эта вода не принимаетъ никакого участія въ работѣ, слѣд., теплота, заключающаяся въ ней, составляетъ потерю. Въ машинахъ съ расширеніемъ часть воды испаряется (§ 267) и производитъ работу: потеря теплоты меньше, но испарившаяся вода оставляетъ осадокъ, засоряющій цилиндръ. Отсюда ясна необходимость осушки пара. Съ этою цѣлью на котлѣ ставятъ такъ наз. *паровой куполъ* (C, фиг. 208 и 212), служащій резервуаромъ для пара, который теряетъ въ немъ часть своей влажности, прежде поступленія въ паропроводныя трубы. Паровой куполъ представляетъ желѣзный цилиндръ, приклепанный къ котлу и снабженный вверху чугуннымъ вѣнчикомъ, къ которому прикрѣпляются флянцы *предохранительныхъ клапановъ* и *паропроводныхъ трубъ*.

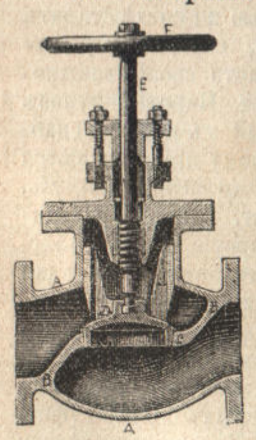
На куполѣ же (иногда на самомъ котлѣ, фиг. 208, M) устраивается *лазъ* или *горловина*, т. е. овальное отверстіе (около 45 с. длиною и 30 с. шириною), черезъ которое проникаетъ рабочій для осмотра и очистки котла отъ накипей. Лазъ закрывается герметически крышкою, чугунною или желѣзною. Крышку заводятъ въ котелъ вертикально и уже внутри котла ее поворачиваютъ. Укрѣпленіе крышки производится помощью двухъ скобокъ, упирающихся своими лапами въ края лаза и затягиваемыхъ болтами (фиг. 305, f), пропущенными сквозь скобки и крышку. Для герметичности отверстія между краями крышки и лаза прокладывается кольцо изъ каучука или азбестовой папки, пропитанной масломъ. Чтобы не

ослабить стѣнки котла къ кромкамъ отверстія лаза приклепывается эллиптическое желѣзное кольцо.

Совершенно сходное съ лазомъ устройство имѣютъ такъ наз. *люки*, т. е. небольшія отверстія (фиг. 305), устраиваемыя въ различныхъ мѣстахъ котла (а также въ переднихъ днищахъ кипятильниковъ) и служащихъ для *очистки и промывки* котла.

Въ куполѣ берутъ начало *паропроводныя трубы* (обыкновенно чугунныя), по которымъ паръ изъ котла проводится въ машину. Паропроводъ составляется изъ отдѣльныхъ трубъ (около 2 м. длиною), соединенныхъ между собою при помощи флянцевъ и болтовъ. Для устраненія течи пара, между флянцами помѣщаютъ *прокладку*, дѣлающую соединеніе герметическимъ: кружокъ изъ вулканизированнаго *каучука*, или кольцо изъ *мѣдной проволоки*, или кружокъ изъ проволочной *латунной* сѣтки, обмазанный *суриковою замазкою* (изъ равныхъ частей тонкаго порошка свинцовыхъ бѣлилъ и сурика съ небольшимъ количествомъ варенаго льнянаго масла) и т. п. Паропроводъ иногда достигаетъ большой длины. Во избѣжаніе охлажденія пара на пути къ паровому цилиндру, паропроводъ снабжаютъ одеждою, сдѣланною изъ матеріаловъ, дурно проводящихъ теплоту. Наилучшую одежду составляетъ такъ наз. *инфузорная земля* (состоящая изъ кремнезема) въ смѣси съ глиною. Нерѣдко для этой цѣли трубы обвиваютъ жгутами изъ соломы. Весьма практична такъ наз. *искусственная пробка* (изолирующая масса Грюнберга), которая приготовляется въ видѣ лентъ, пластинъ и т. п. Длинные паропроводы снабжаютъ краномъ или клапаномъ для выпуска конденсаціонной воды.

258. Створный и поворотный клапаны. Въ паропроводной трубѣ ставятся обыкновенно 3 клапана: два *створныхъ*, одинъ около котла, другой около машины, и одинъ *поворотный* клапанъ у самой золотниковой коробки. Первые два клапана служатъ для прекращенія притока пара въ паровой цилиндръ, а потому должны производить совершенно плотное запираніе. *Поворотный клапанъ* служитъ *для регулированія притока пара* и соединяется системою рычаговъ съ муфтою регулятора.

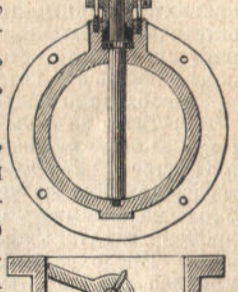


Фиг. 230.

На фиг 230 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ створный клапанъ обыкновеннаго устройства. AA есть *клапанная коробка* или *кожухъ*, раздѣленный на двѣ части стѣнкою BB, снабженною коническимъ отверстіемъ, въ которое вколачивается *сѣдло* C, тщательно обточенное внутри по цилиндру. На сѣдло опирается *клапанъ* D, имѣющій форму тарелки и снабженный

направляющими ребрами d,d, не дозволяющими ему уклоняться въ стороны. Такъ какъ клапанъ долженъ герметически закрывать отверстіе, то онъ тщательно прискабливается и притирается къ своему сѣдлу. Клапанъ и сѣдло отливаются всегда изъ латуни, какъ матеріала почти не покрывающагося ржавчиною, которая могла бы препятствовать плотному закрыванію отверстія. Движеніе клапанъ получаетъ отъ стержня E, снабженнаго винтовою нарѣзкою и пропущеннаго черезъ сальникъ. Поворачивая маховичекъ F, прикрѣпленный къ концу стержня, открываютъ или закрываютъ клапанъ и такимъ образомъ устанавливаютъ или прекращаютъ сообщеніе золотниковой коробки съ котломъ.

Поворотный клапанъ изображенъ на фиг. 231. Чугунный кожухъ A имѣетъ форму короткаго цилиндра, служащаго въ то же время сѣдломъ для латуннаго эллиптическаго клапана B. Послѣдній вращается около діаметральной оси C, пропущенной черезъ сальникъ. Наружный конецъ D оси соединяется системою рычаговъ съ муфтою регулятора, отъ котораго онъ получаетъ движеніе.



Фиг. 231.

Створный клапанъ должно открывать какъ можно *медленнѣе*. При быстромъ открываніи этого клапана можетъ произойти сильное *сотрясеніе* котла, могущее служить причиною взрыва. Сотрясеніе это вызывается тѣмъ обстоятельствомъ, что паръ, вступивъ въ холодный паропроводъ, быстро конденсируется, вызывая тѣмъ приливъ новыхъ количествъ пара, который также почти мгновенно осаждается и т. д., пока не нагрѣется достаточно паропроводъ. Вслѣдствіе такого значительнаго расхода пара въ котлѣ установится давленіе, меньшее того, которое соотвѣтствуетъ температурѣ воды въ котлѣ. По этой причинѣ образуется сразу огромное количество пара и произойдетъ опасное сотрясеніе всего котла. Отсюда понятенъ тотъ фактъ, что большая часть взрывовъ котловъ произошла при открываніи створнаго клапана.

259. Водоспускной кранъ. (t, фиг. 212 и 213, H—фиг. 208). Онъ служитъ для выпуска воды изъ котла по остановкѣ дѣйствія его на долгое время или въ видахъ чистки, *продувки* котла на ходу. Кранъ дѣлается бронзовый и помѣщается въ самой нижней части котла. При водѣ, дающей накипь, вмѣсто крана ставятъ клапанъ, такъ какъ первый плотно прикипаетъ къ сѣдлу. Вода выпускается изъ крана въ канавку *u* (фиг. 212), которою она отводится въ водостокъ.

260. Уходъ за котломъ. *Ходъ котла* заключаетъ *пять* періодовъ: 1) *подготовка* котла къ дѣйствію; 2) періодъ *растопки* котла; 3) періодъ *правиль-*

наго дѣйствія (парообразованія); 4) *остановка* котла и *выпускъ воды*; 5) *чистка* и *осмотръ* котла.

1) *Подготовка котла.* Кочегаръ долженъ первымъ дѣломъ удостовѣриться, всѣ ли части котла на своемъ мѣстѣ и въ исправности, вычищена ли *рѣшетка.* Если все исправно, то закрываютъ лазы и продувныя люки и *наполняютъ водою котелъ* (ручнымъ насосомъ или напорною водою, открывъ предохранительные клапаны и пробные краны (верхніе). При наполненіи ручнымъ насосомъ, чтобы убѣдиться въ плотности швовъ, полезно *наполнять весь котелъ*, но клапаны не перегружать. Вообще же котелъ наполняется водою немного выше нормальнаго уровня

2) *Растопка котла.* Она начинается, когда вода наполнила котелъ до самаго низкаго уровня, допускаемаго закономъ. Какъ только вода въ котлѣ немного нагрѣлась, лишнюю воду слѣдуетъ выпустить. При растопкѣ накладываютъ дрова на переднюю часть рѣшетки, а на заднюю уголь, при этомъ дверцы топочные и регистръ должны быть открыты, но какъ только разгорится уголь—дверцы закрываютъ. При растопкѣ должно открыть предохранительный клапанъ, створные клапаны и продувательные краны паровaго цилиндра для выпуска воздуха. Какъ только появится паръ въ кранахъ машины—должно всѣ клапаны и краны закрыть, но регистръ оставить открытымъ. Когда упругость пара въ котлѣ достигнетъ нормальнаго предѣла, то осторожно и постепенно открываютъ *створный клапанъ*, помѣщающійся у котла.

Необходимо попробовать водомѣрное стекло, краны, манометръ и пр.

3) *Топка на ходу.* Должно наблюдать чтобы уровень воды въ котлѣ, былъ *не ниже нижайшаго уровня* (отмѣчаемаго на котлѣ *красною* чертою), а упругость пара *не выше нормальной* (обозначаемой на циферблатѣ манометра красною же чертою). Должно чаще продувать водомѣрную трубку. Уголь подбрасывать по манометру равномѣрнымъ слоемъ. Отъ времени до времени слѣдуетъ прочищать рѣшетку снизу желѣзнымъ прутомъ (*шуровать*). Предохранительные клапаны ежедневно слѣдуетъ продувать по крайней мѣрѣ одинъ разъ, осторожно открывая и закрывая ихъ. Время отъ времени, сообразно свойству воды, производится на ходу котла *продувка* его для спуска грязной воды и осадковъ. Продувка котла совершается обыкновенно утромъ и вечеромъ или во время обѣда при остановкѣ машины: усиленнымъ дѣйствіемъ питательнаго прибора (насоса или инжектора) воду накачиваютъ почти до верху трубки и затѣмъ осторожно спускаютъ черезъ спускной кранъ до нормальнаго уровня; эту операцію повторяютъ нѣсколько разъ, пока не станетъ вытекать чистая вода.

Экстренные случаи: 1) *при пониженіи уровня воды до предѣльной черты* слѣдуетъ тотчасъ-же: *удалить огонь съ рѣшетки*, *открыть дверцы и заслонку* и *закрыть створный клапанъ*. Если было питаніе, то его останавливаютъ. 2) Если будетъ замѣчено *накаливаніе стѣнокъ* (вслѣдствіе присутствія накипи), то поступаютъ совершенно также. 3) Въ случаѣ *увеличенія упругости пара выше нормальнаго предѣла* слѣдуетъ *начать питаніе* и *закрыть заслонку*; если это не помогаетъ, то выгребаютъ огонь, открывъ дверцы и заслонку.

4) *Остановка и выпускъ воды.* При остановкѣ котла *на короткое время* огонь въ топкѣ сохраняется. Поверхъ раскаленныхъ углей насыпаютъ слой свѣжаго топлива (*накрываютъ огонь*) и закрываютъ регистръ. Передъ началомъ пуска прежде всего открываютъ заслонку для *провѣтриванія ходовъ отъ гремучей смѣси* (свѣтильнаго газа и воздуха), а затѣмъ уже разгребаютъ огонь. На *пароходахъ* и *локомотивахъ* при кратковременныхъ остановкахъ открываютъ топочныя дверцы и даютъ выходъ избытку пара черезъ предохранительный клапанъ. *На ночь* огонь убирается совсѣмъ и паръ выпускается, пока его упругость не понизится до $1^1/_2$—2 атм. Дверцы и регистръ закрываютъ. Къ концу хода котла, топлива подбрасывается все меньше и меньше.

При продолжительной остановкѣ, убравъ огонь, даютъ *остыть* котлу. Когда стрѣлка манометра дойдетъ до нуля, впускаютъ воздухъ, открывъ предохранительныя клапаны, чтобы не образовалось пустоты. Только черезъ 2—3 часа послѣ удаленія огня можно начать выпускъ воды, при чемъ производятъ промывку котла длинными щетками. Черезъ 6—12 часовъ можно начать починку и чистку.

Если котелъ долженъ долго стоять, то чтобы онъ не ржавѣлъ, ставятъ внутри его сосуды съ хлористымъ кальціемъ и смазываютъ мѣстами котелъ суриковою замазкою или графитомъ на льняномъ маслѣ или свинцовымъ глетомъ на глицеринѣ. Иногда просто вводятъ въ котелъ горшокъ съ горящими углями для просушки.

5) *Чистка и осмотръ котла.* Чистка котла состоитъ въ удаленіи камня, который отбивается зубилами и бородками со всею осторожностью, чтобы не повредить котла, и въ удаленіи сажи съ наружной поверхности котла при помощи проволочныхъ щетокъ, а также въ очисткѣ дымоходовъ и борова отъ насѣвшаго слоя сажи. Вмѣстѣ съ тѣмъ производится чистка арматуры и малый ремонтъ ея: притирка клапановъ, перемѣна набивокъ и прокладокъ и т. п. Что касается осмотра *(ревизіи)* котла, то онъ имѣетъ цѣлью открыть поврежденія котла (прогаръ листовъ, ржавчины, трещины и т. п.) и арматуры, которыя должны быть немедленно устранены.

ЗАДАЧИ.

88. Дано: котелъ производитъ 5100 klg. пара упругостью въ 6 атм. расходуя 680 klg. кам. угля; паръ содержитъ 10% воды; температура питательной воды 40°. Опредѣлить полезное дыйствіе котла.

89. Сколько klg. каменнаго угля потребно для образованія 10 klg. насыщеннаго пара упругостью въ 3 атм., изъ воды, которой температура равна 15° C? $\mu = 0{,}65$.

90. Какіе размѣры долженъ имѣть корнуэльскій котелъ для паровой машины зад. 103?

91. Опредѣлить размѣры печи для предыдущаго котла; топливо—каменный уголь; $\mu = 0{,}60$.

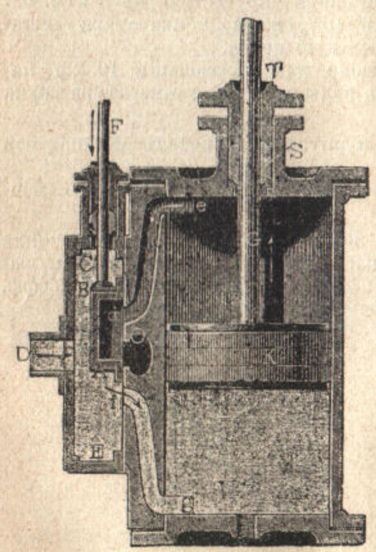
92. Опредѣлить діаметръ и нагрузку предохранительнаго клапана для этого котла. Дано: плечо груза $= 0{,}4$ м., плечо давленія пара $= 0{,}04$ м., радіусъ цапфы $= 0{,}008$ м., вѣсъ рычага $= 2$ klg., его плечо $= 2{,}02$ м., коэфф. тренія $f = 0{,}11$.

ГЛАВА XI.

Паровыя машины.

Общее устройство паровой машины; паровой цилиндръ и его части. — Подраздѣленіе паровыхъ машинъ.—Работа пара въ машинѣ безъ расширенія. — Діаграмма работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ. — Формула Понсле для работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ. — Полезная работа паровыхъ машинъ.—Польза расширенія и охлажденія пара.—Степень расширенія. — Расходъ пара въ часъ. — Наивыгоднѣйшая упругость пара. — Индикаторъ Ричардса; индикаторная работа. — Тепловое полезное дѣйствіе паровыхъ машинъ.—Главнѣйшіе размѣры паровой машины.—Маховики и регуляторы. — Вѣсъ маховика.—Регуляторъ Уатта.—Степень нечувствительности регулятора; вѣсъ шаровъ.—Регуляторъ Портера.—Катарактъ. — Статическіе и астатическіе регуляторы.—Псевдоастатическіе регуляторы Фарко и Прёлля.—Задачи.

261. Общее устройство паровой машины; паровой цилиндръ и его части. *Паровыми машинами* наз. такія термическія машины, въ которыхъ тепловая энергія преобразовывается въ механическую работу при посредствѣ водяныхъ паровъ. Принципъ преобразованія состоитъ въ томъ, что паръ, расширяясь въ машинѣ, преодолѣваетъ внѣшнее сопротивленіе, т. е. *производитъ работу*, которая соотвѣтственными органамимашины передается исполнительнымъ механизмамъ.

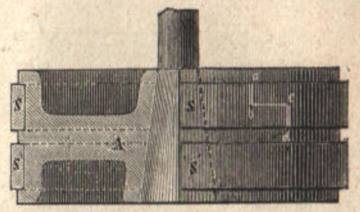


Фиг. 232.

Главную часть паровой машины составляетъ *чугунный цилиндръ* (фиг. 232), тщательно расточенный внутри и снабженный флянцами, къ которымъ прикрѣпляются болтами чугунныя же крышки. Во избѣжаніе течи пара, крышки должны герметически закрывать цилиндръ, для чего флянцы тщательно обтачиваются, а между ними кладется прокладка изъ азбестовой папки, пропитанной масломъ. Весьма нерѣдко флянцы тщательно прискабливаютъ и въ такомъ случаѣ достаточно между ними ввести тонкій слой суриковой краски.

Поршень. Пріемникомъ работы пара въ паровомъ цилиндрѣ служитъ *поршень* K, имѣющій поступательное возвратное движеніе и представляющій пустотѣлый чугунный или желѣзный (штампованный) цилиндръ, въ центрѣ котораго укрѣпленъ конецъ круглаго

стержня или *штока* поршня G. Для предупрежденія протековъ пара между стѣнками цилиндра и поршнемъ, этотъ послѣдній снабжается на внѣшней поверхности такъ наз. *набивкою*, которая дѣйствіемъ своей упругости плотно прилегаетъ къ стѣнкамъ цилиндра и такимъ образомъ производитъ полное разобщеніе обѣихъ частей цилиндра. На бивкабываетъ двухъ родовъ: *пеньковая и металлическая*. Пеньковая набивка дѣлается изъ пеньковыхъ прядей, которыя обматываются вокругъ желобка, сдѣланнаго на ободѣ поршня и сжимаются болтами при посредствѣ накладнаго кольца. Въ настоящее время пеньковая набивка употребляется почти исключительно въ насосныхъ поршняхъ, а въ паровыхъ замѣнена металлическою, болѣе прочною и поглощающею меньше работы на треніе. Металлическая набивка состоитъ изъ разрѣзныхъ колецъ S,S′ (фиг. 233) чугунныхъ или стальныхъ, которыя размѣщаются въ своихъ гнѣздахъ на ободѣ поршня такъ, чтобы разрѣзы не приходились одинъ противъ другаго; самый же разрѣзъ дѣлается зигзагомъ (abcd). Діаметръ колецъ дѣлается нѣсколько больше внутренняго діаметра цилиндра, вслѣдствіе чего кольца должны быть нѣсколько сжаты для того, чтобы поршень могъ войти въ цилиндръ. Соединеніе штока съ поршнемъ производится или посредствомъ клина или гайки. Это соединеніе должно быть плотно, для чего обѣ части обтачиваются на конусъ и пришлифовываются.

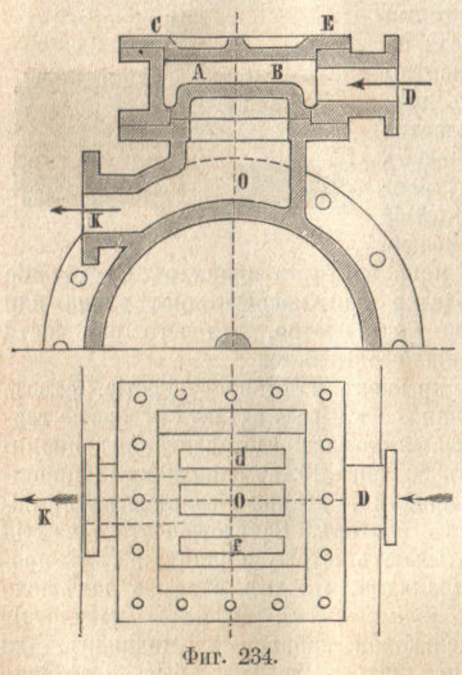


Фиг. 233.

Сальникъ. Въ одной изъ крышекъ сдѣлано отверстіе, сквозь которое проходитъ штокъ поршня. Съ цѣлью сдѣлать отверстіе герметическимъ, его снабжаютъ *сальникомъ*, представляющимъ цилиндрическій пустотѣлый приливъ S (фиг. 232), заполненный пропитанными саломъ пеньковыми прядями, которыя сжимаются крышкою, при помощи флянцевыхъ болтовъ. Вслѣдствіе этого сжатія пеньковыя пряди плотно охватываютъ штокъ поршня и тѣмъ предупреждаютъ течь пара изъ цилиндра. На днѣ буксы s помѣщено бронзовое кольцо (такъ наз. *грундъ-букса*), имѣющее назначеніе препятствовать втягиванію пеньковой набивки въ цилиндръ. Для уменьшенія тренія въ сальникѣ штокъ долженъ быть постоянно смазанъ жирною смазкою, для которой въ сальниковой крышкѣ дѣлается соотвѣтственное помѣщеніе. При большихъ горизонтальныхъ цилиндрахъ, для избѣжанія односторонняго разрабатыванія цилиндра (въ нижней части) дѣйствіемъ вѣса поршня и штока, этотъ послѣдній пропускаютъ черезъ другую крышку, въ которой устраивается второй сальникъ, Для предупрежденія несчастныхъ случаевъ выходящій конецъ штока окружаютъ цилиндрическимъ кожухомъ.

Распредѣлительная коробка и паровыя окошки. Изъ пароваго

котла паръ поступаетъ по паропроводнымъ трубамъ не прямо въ паровой цилиндръ, но предварительно вступаетъ (трубою D) въ такъ наз. *распредѣлительную* или *золотниковую* коробку CE, близъ которой въ трубѣ D помѣщается *поворотный* клапанъ, соединенный системою рычаговъ съ регуляторомъ. Распредѣлительная коробка привинчена къ утолщенной стѣнкѣ цилиндра, въ которой сдѣлано три канала de, fg и O, имѣющіе прямоугольное сѣченіе и оканчивающіеся въ цилиндрѣ близъ крышекъ. Первые два канала сообщаютъ коробку съ цилиндромъ и наз. *паровпускными*, а каналъ O служитъ для сообщенія цилиндра съ атмосферою или холодильникомъ и наз. *паровыпускнымъ*. Верхняя поверхность утолщенной стѣнки представляетъ гладко обструганную плоскость, наз. *столомъ*. На фиг. 234 представленъ поперечный разрѣзъ коробки и видъ стола сверху. CE есть крышка золотниковой коробки, AB—золотникъ, Ok — паровыпускной каналъ, d, O, f такъ наз. *окошки* паров. каналовъ (т. е. отверстія ихъ въ столѣ).



Фиг. 234.

Золотникъ. По столу скользитъ *золотникъ* AB, имѣющій форму коробки, получающей движеніе при посредствѣ штока F, пропущеннаго черезъ сальникъ, отъ тяги кругл. эксцентрика, насаженнаго на главномъ валу машины. Золотникъ служитъ для распредѣленія пара по ту или другую сторону поршня. При положеніи золотника, показанномъ на фиг. 232, паръ изъ распредѣлительной коробки идетъ пролетомъ fg въ нижнюю часть цилиндра, давитъ на нижнюю сторону поршня и движетъ его вверхъ; при этомъ движеніи поршень вытѣсняетъ изъ верхней части цилиндра отработавшій (*мятый*) паръ, который идетъ пролетомъ de подъ золотникъ и затѣмъ черезъ каналъ O уходитъ въ атмосферу или холодильникъ. Двигаясь сверху внизъ, золотникъ постепенно закрываетъ оба канала; къ концу хода поршня онъ передвинется внизъ на столько, что каналъ de, сообщавшій верхнюю часть цилиндра съ холодильникомъ, откроется и начнетъ впускать паръ изъ коробки въ цилиндръ, причемъ поршень начнетъ двигаться сверху внизъ; наоборотъ ка-

налъ fg, получавшій паръ изъ коробки, установитъ сообщеніе нижней части цилиндра съ атмосферою или съ холодильникомъ. Къ концу хода поршня, золотникъ передвинется снова въ верхнее положеніе, поршень снова пойдетъ вверхъ и т. д.

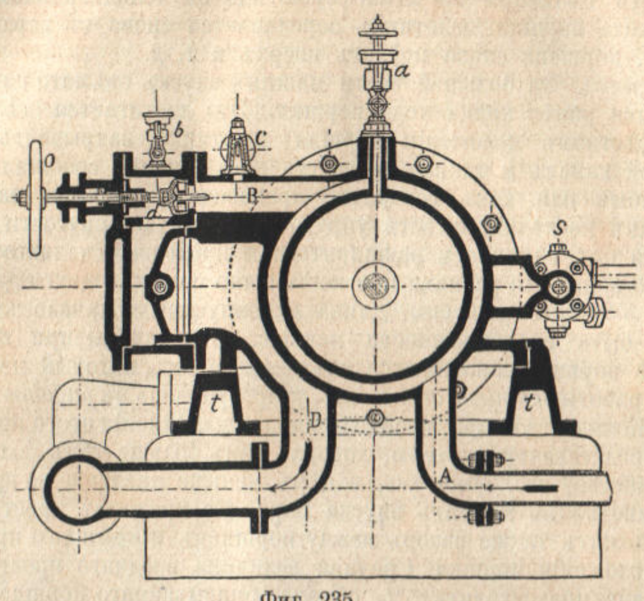
Отсѣчка. Въ большей части машинъ впускъ свѣжаго пара прекращается ранѣе конца хода поршня. Это достигается тѣмъ, что при извѣстномъ положеніи поршня золотникъ закрываетъ паровпускной каналъ и такимъ образомъ прекращаетъ сообщеніе пара съ котломъ или, какъ говорятъ, производитъ *отсѣчку* пара. Но такъ какъ послѣдній имѣетъ упругость большую упругости мятаго пара, то онъ начинаетъ расширяться и продолжаетъ двигать поршень до конца его размаха при постепенно понижающемся давленіи.

Вредное пространство. Длина паровпускныхъ каналовъ fg и de должна быть по возможности меньше. Эти каналы при каждомъ размахѣ поршня наполняются свѣжимъ паромъ, который не производитъ работы *полнымъ давленіемъ*, участвуя лишь въ *работѣ расширенія.* Количество пара, необходимое для наполненія этого пространства, представляетъ потерю, которая тѣмъ больше чѣмъ больше это пространство, наз. *вреднымъ*, и чѣмъ меньше давленіе во вредномъ пространствѣ въ моментъ впуска пара. Ко вредному пространству принадлежитъ также зазоръ между поршнемъ и крышкою при мертвомъ положеніи поршня. Средняя величина вреднаго пространства не должна превосходить 5% объема, описываемаго поршнемъ. Для уменьшенія вреднаго пространства при длинныхъ цилиндрахъ раздѣляютъ золотникъ на двѣ отдѣльныя части, изъ коихъ каждая представляетъ небольшой золотникъ, движущійся по своему столу. Въ каждый изъ этихъ отдѣльныхъ столовъ открываются два только канала: одинъ для впуска, другой для выпуска пара изъ соотвѣтственной части цилиндра.

Холодильникъ представляетъ сосудъ, въ которомъ постоянно поддерживается низкая температура (около 50°); паръ, устремляясь въ него, охлаждается и превращается въ воду; при этомъ давленіе его (обратное давленіе на поршень) дѣлается значительно менѣе давленія рабочаго пара. *Разность давленій свѣжаго и мятаго пара по обѣ стороны поршня представляетъ движущую поршень силу.*

Паровая рубашка. Въ настоящее время почти всѣ цилиндры снабжаются такъ наз. *паровою оболочкою или рубашкою*, цѣль косорой состоитъ въ прогрѣваніи цилиндра. Этотъ послѣдній, а иногда и крышки, имѣетъ *двойныя стѣнки*, между которыми пускается паръ изъ котла, такъ что оболочка находится въ постоянномъ сообщеніи съ котломъ. На фиг. 235 A есть труба, приводящая паръ изъ котла въ рубашку, изъ которой онъ поступаетъ по каналу B въ золотниковую коробку, пройдя черезъ створный клапанъ d, снабженный моховичкомъ O. D есть труба, отводящая паръ въ холодильникъ. При употребленіи паровой рубашки не только увеличи-

вается работа, доставляемая паромъ, но и уменьшается расходъ



Фиг. 235.

пара (до 24%, по опытамъ *Гирна* [1]), а, слѣд., и топлива. Опыты *Гирна* показали также, что экономическое вліяніе рубашки тѣмъ

[1]) Паровая рубашка была патентована *Уаттомъ*, изобрѣтателемъ паровыхъ машинъ, въ 1769 г., но только въ 1876 г. роль ея, по отношенію къ экономіи топлива, была опредѣлена Гирномъ изъ ряда опытовъ надъ термическимъ дѣйствіемъ металлическихъ стѣнокъ цилиндра во время работы машины. Изъ этихъ опытовъ оказалось, что при впускѣ свѣжаго пара въ цилиндръ безъ оболочки значительная часть его (60% вѣса сухаго пара, расходуемаго машиною въ 1 ходъ) конденсируется, подъ вліяніемъ болѣе холодныхъ стѣнокъ цилиндра, покрывая ихъ, а также крышку, поршень и штокъ слоемъ пота. При этомъ стѣнки поглощаютъ до 45% полнаго количества теплоты, заключающейся въ свѣжемъ парѣ. Въ періодъ расширенія пара часть теплоты, отнятой стѣнками (около 18% изъ 45%), переходитъ снова къ пару, причемъ нѣкоторое количество осѣвшей воды превращается въ паръ, содѣйствующій увеличенію полезной работы машины. Остальное количество осѣвшей воды испаряется, насчетъ теплоты стѣнокъ, въ періодъ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ, въ который и уносится соотвѣтственное количество теплоты. Въ присутствіи рубашки въ періодъ впуска сгущалось меньше пара (45%), причемъ стѣнки цилиндра поглощали лишь 37% теплоты пара. Въ періодъ расширенія испарялась большая часть воды со стѣнокъ, а при сообщеніи съ холодильникомъ — остальная, меньшая часть, причемъ въ холодильникъ переходило только 5% теплоты, отнятой стѣнками. Слѣдовательно, въ присутствіи рубашки полезная работа расширенія увеличивается, потеря же теплоты въ холодильникѣ уменьшается. Тѣже опыты показали, что при парѣ, перегрѣтомъ до 180—200°C, рубашка *не приноситъ пользы*.

выше, *чѣмъ больше расширенiе пара* и *чѣмъ меньше скорость* поршня: въ машинахъ *безъ расширенiя* и при большой скорости поршня рубашка не приноситъ почти никакой пользы. Для предохраненiя цилиндра отъ наружнаго охлажденiя, его окружаютъ наружною одеждою или такъ наз. *кожухомъ*, сдѣланнымъ изъ дурнопроводящаго тепло матерiала, обыкновенно изъ деревянныхъ планокъ, стянутымъ мѣдными обручами.

Продувательные краны и маслянки. Въ цилиндрѣ съ теченiемъ времени скопляется вода, а также воздухъ, которые отъ времени до времени должны быть удаляемы изъ него. Для этого цилиндръ снабжается такъ наз. *продувательными кранами*, помѣщаемыми въ нижней части цилиндра у его крышекъ. Передъ началомъ хода машины нѣкоторое время паръ пускается въ атмосферу черезъ эти краны, чѣмъ достигается удаленiе воды и воздуха (*продувка*) изъ паровой рубашки, золотниковой коробки и цилиндра, а также прогрѣванiе этихъ частей (на фиг. 235 с—продув. кранъ).

Для уменьшенiя тренiя и для избѣжанiя скораго изнашиванiя поршня, сальника и золотника, внутреннiя стѣнки цилиндра, а также столъ должны быть постоянно смазаны, для чего на цилиндрѣ и коробкѣ устанавливаютъ *маслянки* (а и b, фиг. 235).

Станина. Паровой цилиндръ долженъ быть очень точно и солидно укрѣпленъ къ своей *станинѣ*. Неправильная установка способствуетъ скорому изнашиванiю трущихся частей и понижаетъ полезное дѣйствiе машины. Небольшiя машины могутъ быть скоро и легко установлены на такъ наз. *штыковой* станинѣ (*Корлисса*), которая можетъ быть обработана одновременно съ цилиндромъ (фиг. 289).

Примѣчанiе. Паръ, работающiй въ паровыхъ машинахъ обыкновеннаго устройства, есть *насыщенный* паръ. Насыщенность его происходитъ отъ слѣдующихъ причинъ: 1) до отсѣчки онъ имѣетъ сообщенiе съ паровымъ котломъ, 2) онъ всегда уноситъ съ собою изъ пароваго котла нѣкоторое количество воды въ капельномъ состоянiи, 3) онъ охлаждается въ цилиндрѣ и частiю осаждается, 4) въ цилиндрѣ всегда есть нѣкоторое количество воды, осѣвшей при предыдущихъ размахахъ поршня.

262. Подраздѣленiе паровыхъ машинъ. Почти всѣ паровыя машины устраиваются съ *двойнымъ дѣйствiемъ* пара, т. е. паръ впускается поочередно по обѣ стороны поршня. Машины *простаго* или *одиночнаго* дѣйствiя, въ которыхъ паръ впускается только при движенiи поршня въ одну сторону, представляютъ рѣдкое исключенiе [1]).

По упругости пара въ котлѣ машины раздѣляются: 1) на машины *низкаго* давленiя, въ которыхъ упругость пара не превосходитъ 2 атмосферъ. Въ началѣ паровыя машины, вслѣдствiе неудовлетворительнаго состоянiя техники котельнаго дѣла, строились боль-

---

[1]) Подобныя машины встрѣчаются въ нѣкоторыхъ паровыхъ молотахъ, паръ впускается только при движенiи поршня вверхъ: паденiе молота производится его собственнымъ вѣсомъ.

шею частію низкаго давленія; но въ настоящее время такія машины совсѣмъ не строятся; 2) *машины средняго давленія*, въ которыхъ упругость пара въ котлѣ измѣняется отъ 2 до $3^1/_2$ атм. и 3) *машины высокаго давленія* съ упругостью пара выше $3^1/_2$ атмосферъ.

По способу дѣйствія пара въ цилиндрѣ машины получаютъ слѣдующія названія: 1) *машины безъ расширенія (безъ отсѣчки)*, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ во все время хода поршня; 2) *машины съ расширеніемъ* (съ отсѣчкою), въ которыхъ паръ дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ только на нѣкоторой части хода поршня (до отсѣчки), а послѣ отсѣчки дѣйствуетъ расширеніемъ. Расширеніе наз. *постояннымъ*, если отсѣчка происходитъ всегда на одной и той же части хода поршня; если отсѣчка измѣняется, то машины получаютъ названіе машинъ съ *перемѣнною отсѣчкою*.

Въ отношеніи выпуска пара машины образуютъ двѣ группы: 1) *машины безъ охлажденія.* Въ этихъ машинахъ паръ выпускается прямо въ атмосферу. Давленіе мятаго пара немного больше атмосфернаго, вслѣдствіе сопротивленій, встрѣчаемыхъ имъ при выходѣ изъ цилиндра по кривымъ каналамъ; 2) *машины съ охлажденіемъ*, въ которыхъ мятый паръ выпускается въ холодильникъ. Давленіе мятаго пара приблизительно равно тому, какое существуетъ въ холодильникѣ, т. е. около 0,1—0,2 атмосферы.

Наконецъ, по своему назначенію паровыя машины образуютъ слѣдующія группы: 1) *постоянныя* (неподвижныя) или *фабричныя машины.* Онѣ устанавливаются на прочномъ фундаментѣ и служатъ на заводахъ и въ мастерскихъ для движенія рабочихъ машинъ (станковъ); 2) *локомобили.* Эти машины устанавливаются вмѣстѣ съ котломъ на колесахъ, при помощи которыхъ онѣ легко могутъ быть перемѣщаемы съ одного мѣста на другое. Подобно постояннымъ машинамъ, онѣ снабжаются маховикомъ и регуляторомъ; 3) *локомотивы или паровозы*, въ которыхъ основаніемъ служитъ желѣзная рама, утвержденная на колесахъ, но въ нихъ сила пара служитъ для собственнаго перемѣщенія паровоза съ поѣздомъ по рельсамъ. Эти машины не имѣютъ холодильниковъ, маховиковъ и регуляторовъ; 4) *пароходныя машины*, служащія для вращенія колесъ или винта, при помощи которыхъ достигается поступательное движеніе парохода. Эти машины также не имѣютъ маховика и регулятора.

263. Работа пара въ машинѣ безъ расширенія. Предположимъ, что упругость рабочаго пара въ цилиндрѣ равна упругости его въ котлѣ. Пусть $F = \frac{\pi D^2}{4}$ будетъ площадь поршня въ кв. метрахъ, P—*полное давленіе* на поршень рабочаго пара въ килограммахъ, l — длина хода поршня въ метрахъ, p — *противодавленіе мятаго пара* на поршень и m—число оборотовъ главнаго вала машины въ минуту. *Полезное давленіе* пара на поршень будетъ P—p; *работа*

его въ теченіе *одного хода* поршня: (P—p) l к. м., а въ одинъ оборотъ: (P—p) 2l, если машина *двойнаго дѣйствія*; наконецъ *валовая работа* пара въ секунду будетъ:

$$T_m = (P-p)\,\frac{2ml}{60}\text{ к. м., или } N = (P-p)\,\frac{2ml}{60.75} = (P-p)\,\frac{v}{75}\,.\;.\;(a)$$

гдѣ $v = 2ml : 60$ есть *средняя скорость поршня.* Чтобы опредѣлить давленія P и p klg. надо знать упругость въ атмосферахъ n рабочаго пара и n_0—мятаго пара. Такъ какъ давленіе одной атм. на кв. м. равно 10334 klg. (или приблизительно 1 klg. на кв. с.), то давленіе $P=10334nF$, а $p=10334n_0F$, слѣд., $P-p=10334\,(n-n_0)$ F klg., поэтому формула (a) приметъ видъ:

$$N = \frac{10334\,(n-n_0)\,Fv}{75}\text{ п. л. . . . (76)}$$

Изъ этой формулы видно, что работа пара въ паровой машинѣ зависитъ: 1) отъ *величины упругости* пара; 2) величины *площади поршня*, и 3) его *скорости*. Такимъ образомъ, сравнительно небольшая паровая машина можетъ доставить большую работу, если только упругость пара и скорость поршня велики (*быстроходящая* машина *высокаго давленія*), чему примѣръ представляютъ локомотивы, которые могутъ доставить работу до 250—300 п. л.

При опредѣленіи упругости пара n въ цилиндрѣ пользуются показаніями манометра, который даетъ разность n—1 давленія пара въ котлѣ и наружнаго воздуха. Что же касается *противодавленія* мятаго пара n_0, то его можно принять равнымъ 0,2 атм. для машинъ съ охлажденіемъ; 1,1—для машинъ безъ охлажденія и 1,5 для локомотивовъ, въ которыхъ мятымъ паромъ пользуются для произведенія искусственной тяги.

Примѣръ. Для $F=0{,}174234$ кв. м., $l=0{,}942$ м., $n=3{,}5$ атм. и $m=24$; $Fv=0{,}131303$ куб. м., $N=45{,}23$ п. л. для машины безъ холодильника ($n_0=1$) и 61,5 п. л. для машины съ холодильникомъ ($n_0=0{,}1$).

264. Діаграмма работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ. *Въ машинахъ съ расширеніемъ* впускъ пара въ цилиндръ прекращается раньше конца хода поршня; послѣ отсѣчки рабочій паръ производитъ работу *расширеніемъ.* Такимъ образомъ, работа пара составляется изъ двухъ частей: 1) *изъ работы пара полнымъ давленіемъ* и 2) *изъ работы пара расширеніемъ*, за вычетомъ въ обоихъ случаяхъ *работы мятаго* пара. Предположимъ, что давленіе пара при впускѣ въ цилиндръ равно давленію въ котлѣ и что *вредное пространство* равно нулю.

Фиг. 236.

Пусть Od (фиг. 236) будетъ полный ходъ l поршня, а $Ob=l_0$ часть хода поршня до отсѣчки; тогда остальная часть хода bd представитъ путь,

проходимый поршнемъ при расширенiи паровъ. До момента отсѣчки, на пути Оb, рабочiй паръ имѣетъ сообщенiе съ котломъ и, слѣд. сохраняетъ свою упругость и температуру, а потому *линiя давленiй*, соотвѣтствующая этой части хода поршня, будетъ *прямая* AB, параллельная оси абсциссъ. Опредѣленiе работы полнаго давленiя, при данныхъ условiяхъ, не представляетъ никакихъ затрудненiй: она выразится графически площадью прямоугольника OABbO.

Съ момента отсѣчки прекращается сообщенiе пара съ котломъ: паръ *расширяется*. Пусть *кривая BMC выражаетъ законъ измѣненiя давленiя* въ теченiе этого перiода расширенiя. Работа пара расширенiемъ можетъ быть вычислена только въ томъ случаѣ, если извѣстенъ *законъ расширенiя*, который находится въ зависимости отъ *термическихъ свойствъ* стѣнокъ цилиндра. Хотя въ дѣйствительности расширенiе пара въ паровомъ цининдрѣ сопровождается весьма сложными физическими явленiями, однако, какъ показали опыты, произведенные *Леду*, *Фелькнеромъ*, *Рейхе* и др. въ паровыхъ машинахъ, снабженныхъ паровою рубашкою, *законъ расширенiя пара ближе всего выражается закономъ Марiотта*, установленнымъ собственно для *постоянныхъ газовъ*, расширяющихся при постоянной температурѣ: $pv=p_1v_1=p_2v_2=\text{Const}$.

Въ моментъ, когда поршень придетъ въ *правую мертвую точку*, паровпускной пролетъ дѣлается выпускнымъ и рабочiй паръ получаетъ сообщенiе съ холодильникомъ, причемъ давленiе паровъ почти мгновенно падаетъ отъ Cd до того давленiя Dd = p, какое существуетъ въ холодильникѣ. Совершающiйся въ это время процессъ съ паромъ состоитъ въ охлажденiи его, т. е. почти въ мгновенномъ обращенiи части паровъ въ воду, а, слѣд., и въ расширенiи оставшагося пара непревращеннымъ. Затѣмъ, при обратномъ движенiи поршня отъ d къ O происходитъ постепенное уменьшенiе объема смѣси паровъ и воды, наполняющей холодильникъ и паровой цилиндръ, причемъ происходитъ постепенное осажденiе и остальной части паровъ, *безъ повышенiя температуры*, такъ какъ въ холодильникъ постоянно вбрызгивается холодная вода. Когда поршень придетъ въ лѣвую мертвую точку, весь мятый паръ перейдетъ въ холодильникъ и обратится тамъ въ воду. Такъ какъ на пути отъ d къ O температура пара, уходящаго въ холодильникъ, не мѣняется, то и давленiе его остается также неизмѣннымъ (§ 216), а, слѣд., этому пути соотвѣтствуетъ прямая DE, которая изобразитъ *линiю давленiя мятаго пара*.

Площадь, ограниченная сомкнутою профилью ABCdOA представитъ *полную работу* пара въ теченiе одного размаха поршня, а площадь прямоугольника OEDd представитъ графически работу *противодавленiя* мятаго пара въ одинъ размахъ; слѣд., работа *полезнаго давленiя* выразится заштрихованною площадью OABCDEA. Пусть величина ея будетъ S, величина площади OABbO—S_1, пло-

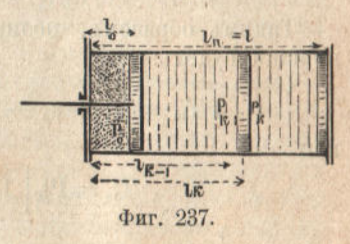
щади bBCdb — S_2, наконецъ, площади OEDdO — S_3; тогда будемъ имѣть: $S=S_1+S_2-S_3$.

Сомкнутая кривая, площадь которой представляетъ работу какой-либо силы, наз. вообще *діаграммою.* Площадь діаграммы опредѣляется или по правилу *Симпсона* или при помощи особыхъ приборовъ, наз. *планиметрами*, изъ коихъ наиболѣе употребителенъ пл. *Амслера.* Положимъ, что тѣмъ или другимъ способомъ мы опредѣлили S_1, S_2, S_3, а, слѣд., и S — число кв. мм., заключающихся въ діаграммѣ OABCD. Для выраженія, по площади діаграммы, работы пара въ к. м. надо знать *масштабъ діаграммы.* Положимъ, что одинъ мм. основанія діаграммы соотвѣтствуетъ l' м. пройденнаго поршнемъ пути, а одинъ мм. высоты—выражаетъ p' klg., тогда искомая работа пара въ к. м. въ теченіе одного хода поршня будетъ: $T_m=Sp'l'$ к. м.

265. Формула Понсле для работы пара въ машинѣ съ расширеніемъ. Эта формула была выведена еще въ 1826 г. Понсле въ предположеніи, что паръ расширяется, слѣдуя закону Маріотта (§ 264).

Принимая обозначенія §§ 263 и 264 будемъ имѣть: 1) работа пара до отсѣчки $s_1=Pl_0$; 2) работа мятаго пара $s_3=pl$.

Опредѣлимъ теперь работу пара во время расширенія на длинѣ $l-l_0$. Означимъ ее по прежнему буквою s_2. Пусть $l_0, l_1, l_2 \ldots l_{k-1}, l_k \ldots l_n=l$ будутъ послѣдовательныя разстоянія поршня отъ крышки цилиндра (фиг. 237), p_0, $p_1 \ldots p_{k-1}$, $p_k \ldots p_n$; v_0. $v_1 \ldots v_n$ соотвѣтствующія давленія на ед. площади и объемы расширяющагося пара и F—площадь поршня. Если n очень велико, то разности $l_1-l_0, l_2-l_1, \ldots l_k-l_{k-1} \ldots l_n-l_{n-1}$ представляющія пути, проходимые поршнемъ последовательно отъ одного положенія до другаго, будутъ весьма малы, такъ что можно допустить, что соотвѣтствующія давленія остаются постоянными во все время этихъ весьма малыхъ расширеній пара. Наконецъ, пусть элементарныя работы, развиваемыя послѣдовательно расширяющимся паромъ при переходѣ поршня отъ одного положенія до другаго, будутъ соотвѣтственно: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \ldots$ По закону Маріотта имѣемъ:



Фиг. 237.

$$p_0 v_0 = p_1 v_1 = F l_{k-1}\; p_{k-1} = \ldots\ldots$$

Элементарная работа, развиваемая расширяющимся паромъ при передвиженіи поршня на длину пути $l_k - l_{k-1}$, будетъ:

$$\lambda_k = F p_{k-1} (l_k - l_{k-1}) = p_0 v_0 \frac{(l_k - l_{k-1})}{l_{k-1}}, \text{ откуда } l_k = l_{k-1} \left(1 + \frac{\lambda_k}{p_0 v_0}\right).$$

Напишемъ рядъ подобныхъ равенствъ для значеній $k=1,2,3...$ до $k=n$; получимъ:

$$l_1=l_0\left(1+\frac{\lambda_1}{p_0v_0}\right);.....l_k=l_{k-1}\left(1+\frac{\lambda_k}{p_0v_0}\right);......l_n=l_{n-1}\left(1+\frac{\lambda_n}{p_0v_0}\right).$$

Перемноживъ эти уравненія одно на другое и положивъ $\lambda_1=\lambda_2....=\lambda_k....=\lambda_n$, т. е. принявъ, что безконечно малыя расширенія l_1-l_0, l_2-l_1.... соотвѣтствуютъ равнымъ элементарнымъ работамъ расширяющагося газа, что всегда возможно допустить, будемъ имѣть: $l_n=l_0\left\{1+\frac{\lambda_n}{p_0v_0}\right\}^n$; но $\lambda_n=\frac{s_2}{n}$, слѣдовательно:

$$l_n=l_0\left\{1+\frac{s_2:p_0v_0}{n}\right\}^n.$$

Предѣлъ выраженія $\left\{1+\frac{s_2:p_0v_0}{n}\right\}^n$ при увеличеніи n до ∞ равенъ $e^{\frac{s_2}{p_0v_0}}$, гдѣ e есть основаніе неперовыхъ или натуральныхъ логариѳмовъ; поэтому $l_n=l_0e^{\frac{s_2}{p_0v_0}}$, откуда, такъ какъ $l_n=l$, $v_0=Fl_0$ и $P=p_0F$:

$$s_2=Pl_0\log.\text{nat.}\frac{l}{l_0}.$$

Такимъ образомъ, полная работа пара въ теченіе одного хода поршня будетъ:

$$T_m=s_1+s_2-s_3=Pl_0+Pl_0\log\frac{l}{l_0}-pl,$$

или

$$T_m=Pl_0\left[1+\log\varepsilon-\frac{p}{P}\varepsilon\right],$$

гдѣ $\varepsilon=\frac{l}{l_0}$ есть такъ наз. *степень расширенія*, которая *тѣмъ больше*, *чѣмъ больше расширеніе*, т. е. чѣмъ меньше часть l_0 хода поршня, проходимая при полномъ давленіи, сравнительно съ размахомъ l. При m оборотахъ въ минуту, работа пара въ секунду въ машинѣ двойнаго дѣйствія будетъ:

$$T_m=P\frac{2ml_0}{60}\left\{1+\log\varepsilon-\frac{p}{P}\varepsilon\right\}\;......\;(77)$$

Выражая давленіе пара въ атмосферахъ (§ 263), получимъ:

$$T_m=10334\;nF\;\frac{2ml_0}{60}\left(1+\log\varepsilon-\frac{n_0}{n}\varepsilon\right)\text{к. м.}\;....\;(78)$$

Положивъ въ этомъ ур. $\varepsilon = 1$ (*машина безъ расширенія*), т. е $l_0 = l$, получимъ извѣстную формулу (§ 263):

$$T_m = 10334\ (n - n_0)\ Fv.$$

Примѣръ: Для $F = 0{,}174234$ кв. м.; $l = 0{,}942$ м., $\varepsilon = 3$; $n = 3{,}5$ атм. $n_0 = 1$; $m = 24$, $T_m = 1965{,}3$ к. м.$=26{,}2$ п. л.; а для машины съ охлажденіемъ ($n_0 = 0{,}1$): $T_m = 3186{,}6$ к. м.$=42{,}5$ п. л.

266. Полезная работа паровыхъ машинъ. Полезная работа паровыхъ машинъ, передаваемая валомъ маховика, значительно менѣе той, какая получается по формуламъ предыдущихъ §§. Главнѣйшія причины потери работы заключаются въ *треніи* поршня и другихъ движущихся частей, въ *течи* и въ *охлажденіи* пара при переходѣ изъ котла въ цилиндръ, влекущемъ за собою *уменьшеніе его давленія*. Опытъ показываетъ, что упругость пара въ цилиндрѣ составляетъ только $^3/_4$ до $^4/_5$ давленія его въ котлѣ. Если, напр., манометръ показываетъ избытокъ давленія въ котлѣ въ 4 атм., т. е. 5 атм. абсолютной упругости пара, то упругость его въ цилиндрѣ будетъ лишь $3\,^3/_4$ до 4 атм. и тѣмъ больше, чѣмъ лучше защищенъ паропроводъ отъ охлажденія и чѣмъ меньше встрѣчаетъ въ немъ паръ сопротивленій (при проходѣ черезъ краны, клапаны и т. п.).

Въ машинахъ съ расширеніемъ, въ которыхъ *регулированіе хода производится измѣненіемъ отсѣчки*, разность упругости пара въ котлѣ и цилиндрѣ незначительна (около $5^0/_0$); но она гораздо больше въ тѣхъ машинахъ, въ которыхъ *регулированіе хода производится при помощи поворотнаго или створнаго клапана*: по выходѣ изъ *съуженнаго* отверстія паръ *расширяется*, причемъ *давленіе его понижается*. Вслѣдствіе подобнаго *торможенія* получается паръ меньшей упругости, но его получается больше по объему, уменьшается *расходъ пара*, т. е. количество (по вѣсу) притекающаго въ цилиндръ пара въ ед. времени; самый паръ дѣлается *суше*, вслѣдствіе того, что часть содержащейся въ немъ влаги, нагрѣтой до температуры, соотвѣтствующей упругости пара до прохода его черезъ клапанъ, обращается въ паръ, меньшей упругости.

Пусть μ будетъ коеффиціентъ полезнаго дѣйствія паровой машины, тогда ея полезная работа выразится;

$$T_u = \mu\ T_m \text{ к. м., или } N = \frac{\mu T_m}{75} \text{ п. л.} \quad \ldots\ldots (79)$$

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены величины μ, найденныя при помощи нажима Прони для различныхъ машинъ:

Полезная работа N п. л.	до 15	до 25	до 45	до 65	> 65
Машины безъ охлажденія и расширенія.	0,6	0,62	0,70	0,75	0,80
Машины безъ охлажденія, но съ расширеніемъ	0,52	0,60	0,65	0,70	0,75
Машины съ охлажденіемъ и расширеніемъ.	0,55	0,60	0,65	0,68	0,70

267. Польза расширенія и охлажденія пара. Польза расширенія пара заключается въ томъ, что одно и тоже количество пара даетъ большую работу, т. е. *для произведенія извѣстной работы расходуется менѣе пара и, слѣд., менѣе топлива.* Это заключеніе становится яснымъ изъ разсмотрѣнія діаграммы ABCDE (фиг. 236). Въ теченіе одного хода поршня расходуется объемъ пара, равный Fl_0. Если бы этотъ объемъ пара дѣйствовалъ безъ расширенія, то онъ доставилъ бы работу, выраженную площадью прямоугольника ABE. заставляя же этотъ объемъ работать послѣ отсѣчки еще расширеніемъ, мы выигрываемъ работу, выраженную криволинейною площадью BCD.

Другая не менѣе значительная выгода расширенія состоитъ въ томъ, что паръ *перегрѣвается* (§ 216) на счетъ теплоты стѣнокъ цилиндра (въ машинахъ съ паровою рубашкою или обшивкою), причемъ механически увлеченная имъ вода обращается въ паръ, который также производитъ работу; въ машинахъ же безъ расширенія, какъ извѣстно, эти частицы воды остаются безъ дѣйствія, ибо паръ все время остается насыщеннымъ. Сверхъ того, въ работѣ расширенія принимаетъ участіе паръ, заключенный во вредномъ пространствѣ, между тѣмъ какъ въ машинѣ безъ расширенія этотъ паръ составляетъ чистую потерю.

Но должно замѣтить, что такъ какъ упругость пара въ теченіе хода поршня въ машинѣ съ расширеніемъ значительно измѣняется, вслѣдствіе чего измѣняется значительно усиліе, вращающее кривошипъ, то для уравниванія хода машины потребуется болѣе тяжелый маховикъ (§ 275), который оказывается необходимымъ даже въ томъ случаѣ, если машина не имѣетъ вращательнаго движенія (паровые насосы, воздуходувныя маш.). Наконецъ, легко видѣть, что машины съ расширеніемъ должны имѣть большіе размѣры, нежели м. безъ расширенія одинаковой съ ними силы, слѣд., выйдутъ дороже, но *расходъ пара и топлива для первыхъ будетъ меньше, нежели для вторыхъ.*

Что касается пользы, приносимой холодильникомъ, то она понятна изъ соображенія, что работа пара въ цилиндрѣ зависитъ не только отъ величины давленія рабочаго пара, но также и отъ величины противодавленія мятаго пара; чѣмъ меньше это противодавленіе, тѣмъ больше работа пара; въ машинахъ же съ холодильникомъ это противодавленіе значительно меньше, нежели въ машинахъ безъ холодильника. Должно замѣтить, однако, что выгода доставляемая холодильникомъ, тѣмъ менѣе чувствительна, чѣмъ выше давленіе паровъ въ котлѣ. Такъ какъ устройствомъ холодильника усложняется машина и требуются особые насосы для постояннаго доставленія въ холодильникъ холодной воды, а также и для извлеченія накопившихся въ немъ продуктовъ охлажденія пара, и такъ какъ на сообщеніе движенія этимъ насосамъ необходимо затратить нѣкоторую часть работы, то дѣлается понятнымъ, что *въ машинахъ высокаго давленія холодильникъ будетъ приносить весьма мало пользы*, а потому машины высокаго давленія всего чаще бываютъ безъ холодильниковъ. Заключеніе это впрочемъ относится только до машинъ высокаго давленія и безъ расширенія или же съ расширеніемъ небольшой степени, какъ это имѣетъ мѣсто, напр., въ локомотивахъ. Въ машинахъ же высокаго давленія и при большей степени расширенія холодильникъ будетъ полезенъ въ томъ именно отношеніи, что только при его отсутствіи и можно будетъ достигнуть большой степени расширенія.

268. Степень расширенія. Степенью расширенія, какъ было объяснено въ § 265 наз. отношеніе объема расширившагося пара (въ концѣ расширенія) къ объему пара до отсѣчки, т. е. $\frac{Fl}{Fl_0} = \frac{l}{l_0} = \varepsilon$. Если отсѣчка производится на $^1/_5$, $^1/_4$, $^1/_3$ и т. д. хода поршня, то степень расширенія равна 5, 4, 3..., при чемъ говорятъ: машина работаетъ съ 5-нымъ, 4-ымъ, тройнымъ и т. д. расширеніемъ. Расширеніе пара нельзя доводить до такой степени, чтобы давленіе пара въ концѣ расширенія сдѣлалось равнымъ давленію въ холодильникѣ, по той причинѣ, что къ противодавленію мятаго пара присоединяется *треніе*, которое можно разсматривать тоже какъ *противодавленіе на поршень*, слѣд., расширеніе не слѣдуетъ продолжать дальше того предѣла, когда давленіе пара съ рабочей стороны сдѣлается равнымъ суммѣ этихъ давленій: расширеніе за этимъ предѣломъ влечетъ за собою потерю работы, также какъ расширеніе, не доводимое до этого предѣла.

Принявъ среднимъ числомъ потерю работы на треніе въ 20% найдемъ, что сила тренія отнесенная къ поршню, можетъ быть выражена 0,2 средняго давленія пара, или, приблизительно, 0,1 наибольшаго его давленія. Напр., для машинъ средняго давленія треніе будетъ измѣряться давленіемъ 0,2—0,35 атм.; среднее давленіе

въ холодильникѣ = 0,2 атм.; слѣд., полное противодавленіе на поршень будетъ: $n_0 = 0,4—0,55$ атм.; поэтому наименьшая упругость пара не должна быть $<0,4—0,55$ атм. для машинъ съ охлажденіемъ, а для машинъ безъ охлажденія $<1,2—1,35$ атм. Если первоначальное давленіе пара было 4 атм., то для этого онъ долженъ расшириться около 7 разъ противъ первоначальнаго объема. Такое значительное расширеніе допускается въ машинахъ *Вульфа* и *компаундъ*; при расширеніи же въ одномъ цилиндрѣ, для избѣжанія слишкомъ большихъ размѣровъ послѣдняго, довольствуются меньшей степенью расширенія, не превышающей 3—5. Вычисленія и опытъ показываютъ, что для каждаго рода машинъ существуетъ *наивыгоднѣйшая степень расширенія*, при которой работа пара, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, выходитъ maximum; величины ихъ приведены въ § 273.

269. Расходъ пара въ часъ. Весьма важно знать, какъ долженъ быть великъ котелъ, для того чтобы онъ могъ доставлять требуемое машиною количество пара данной упругости. Для рѣшенія этого вопроса необходимо знать, сколько килограммовъ или фунтовъ пара расходуетъ машина въ часъ. Изъ предыдущаго ясно, что для произведенія одинаковой работы въ одинаковое время не всѣ машины потребуютъ одинаковое количество пара; болѣе совершенныя машины будутъ расходовать его меньше, нежели машины, менѣе совершенныя; такъ, машина съ расширеніемъ и охлажденіемъ расходуетъ менѣе пара, нежели машина безъ расширенія.

На основаніи многочисленныхъ опытовъ можно принимать слѣдующія среднія величины расхода пара на одну паровую лошадь полезной работы въ часъ: *въ машинахъ Корлисса*—11 klg.; *въ м. съ расширеніемъ*—18 klg.; *въ м. безъ расширенія*—30 k. Напримѣръ, обыкновенная машина съ расширеніемъ въ 40 п. л. полезной работы будетъ расходовать въ часъ 720 klg., и такое же количество пара въ часъ будетъ расходовать машина безъ расширенія въ 24 п. л. Отсюда видна выгода болѣе совершенной, хотя и болѣе дорогой машины.

Зная расходъ пара, не трудно опредѣлить величину поверхности нагрѣва котла по данностямъ § 230, а по этой послѣдней діаметръ, длину и прочіе размѣры котла данной системы.

270. Наивыгоднѣйшая упругость пара. Такъ какъ работа пара, какъ это видно изъ формулы (77), зависитъ отъ величины упругости пара въ котлѣ, то представляется вопросъ: какъ велика должна быть эта упругость, при данной системѣ паровой машины, для того чтобы *паръ доставлялъ наибольшую возможную работу при наименьшей затратѣ топлива*? Для рѣшенія этого вопроса разсмотримъ работу *паровой машины безъ охлажденія*, которая при

одинаковыхъ условіяхъ (та же степень расширенія, число оборотовъ) одинъ разъ питается паромъ въ 4 ат., а другой—въ 7 атм.

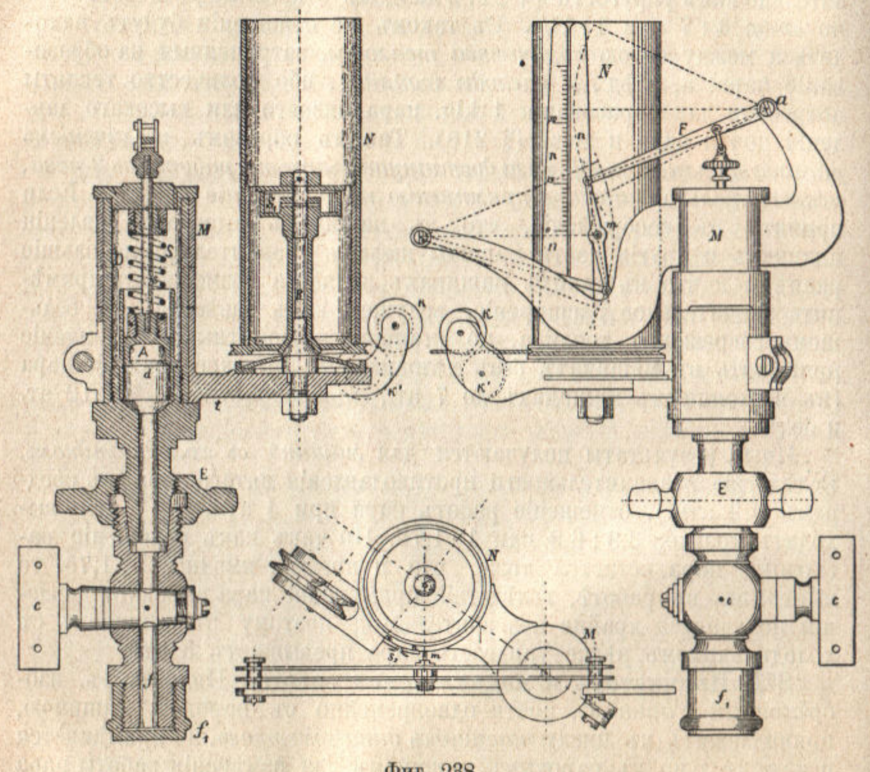
Такъ какъ противодавленіе мятаго пара равно 1 ат., то полезное давленіе пара на поршень въ первомъ случаѣ равно 3 ат., а во второмъ 6 ат., а какъ всѣ остальныя условія одинаковы, то работы пара будутъ относиться какъ 3 : 6 или 1 : 2. Замѣчая же, что *расходъ пара по объему* въ обоихъ случаяхъ одинаковъ, и что вѣса ед. объема пара (такъ наз. *удѣльные вѣса*) относятся приблизительно какъ упругости (§ 217), найдемъ отношеніе *расходовъ пара по вѣсу*: 4 : 7 или 1 : $1^3/_4$. Въ такомъ же отношеніи будутъ находиться между собою *количества теплоты*, затраченныя на образованіе пара, а, слѣд., и *расходы топлива*, ибо количество теплоты потребное для образованія 1 klg. пара низкаго или высокаго давленія почти одно и тоже (§ 218). Такимъ образомъ, *увеличеніемъ расхода топлива въ $1^3/_4$ раза достигнутъ выигрышъ работы въ 2 раза, исключительно благодаря примѣненію пара высокаго давленія.* Если принять въ соображеніе, что въ машинахъ высокаго давленія цилиндръ и другія части машины имѣютъ сравнительно небольшіе размѣры и что въ такихъ машинахъ является возможность примѣнить значительное расширеніе, ведущее, какъ извѣстно, къ бóльшому сбереженію топлива, то становится понятнымъ стремленіе примѣнять въ машинахъ безъ холодильника высокое давленіе пара (въ постоянныхъ машинахъ до 7 ат., въ локомотивахъ до 12 ат. и болѣе).

Иные результаты получаются для *машинъ съ холодильникомъ*. Вслѣдствіе незначительности противодавленія мятаго пара (въ среднемъ 0,2 атм.), отношеніе работъ пара при 4 атм. и 7 атм. выходитъ только: 3,8 : 6,8 или 1 : 1,79. Но такъ какъ отношеніе расходовъ пара остается тоже, что и прежде, именно: 1 : 1,75, то выигрышъ въ работѣ, вслѣдствіе примѣненія пара высокаго давленія получается крайне незначительный; поэтому въ машинахъ съ холодильникомъ рѣдко упругость пара превышаетъ 5 атм.

271. Индикаторъ и индикаторная работа. Индикаторъ, изобрѣтенный *Уаттомъ*, почти одновременно съ паровою машиною, принадлежитъ къ числу *пишущихъ динамометровъ*, но примѣняется исключительно къ паровымъ машинамъ для измѣренія работы пара въ паровомъ цилиндрѣ, его упругости, для опредѣленія закона расширенія пара и многихъ другихъ обстоятельствъ, сопровождающихъ работу пара въ цилиндрѣ. Будучи сообщенъ съ цилиндромъ индикаторъ чертитъ діаграмму работы пара, подобную фиг. 236 и наз. *индикаторною діаграммою*.

На фиг. 238 представленъ индикаторъ *Ричардса*, наиболѣе распространенный въ настоящее время. Онъ состоитъ изъ латуннаго цилиндрика d, въ которомъ плотно ходитъ поршень A, нажимаемый спиральною пружиною s; цилиндрикъ d свинченъ съ ци-

линдромъ D большаго діаметра, закрытымъ сверху крышкою, въ которой сдѣлано отверстіе, устанавливающее постоянное сообщеніе его съ атмосферою. Короткая стальная пружина s снабжена по концамъ латунными припаянными гайками, при помощи которыхъ, она свинчивается съ поршнемъ и крышкою. Цилиндры d и D соединены посредствомъ муфты E съ краномъ C, который ввинчивается въ паровой цилиндръ. Давленіе пара въ индикаторѣ такое же, какъ и въ паровомъ цилиндрѣ (для достиженія этого индикаторъ



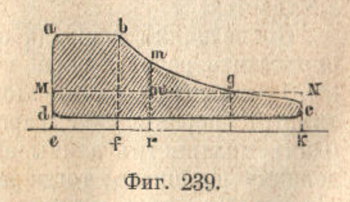
Фиг. 238.

прежде чѣмъ сообщить съ цилиндромъ прогрѣваютъ, открывъ лишь немного кранъ, причемъ паръ будетъ выходить черезъ отверстіе O въ кожухѣ крана). Это давленіе сжимаетъ спиральную пружину, величина сжатія которой пропорціональна давленію и потому можетъ служить для его измѣренія. При индикаторѣ Ричардса имѣется 9 пружинъ s (для слабаго давленія пара—болѣе слабая пружина). тщательно вывѣренныхъ, и для каждой изъ нихъ прилагается особый масштабикъ; дѣленія этихъ масштабиковъ, соотвѣтствуя той или

другой степени сжатія пружины, показываютъ упругость пара въ цилиндрѣ (15 дѣленій выражаютъ 1 атм.).

Стержень поршня A сочлененъ съ рычагомъ F, который можетъ качаться около оси a; къ серединѣ *m* серьги сокращеннаго параллелограмма *Уатта* придѣланъ карандашъ; этотъ послѣдній нажатъ къ листу бумаги, навернутой на барабанъ N, вращающійся около неподвижной вертикальной оси B, укрѣпленной къ подпоркѣ t. Цилиндръ N снабженъ желобкомъ, на который навита нить, проходящая затѣмъ между двумя направляющими роликами k и k′ и укрѣпленная другимъ концомъ къ *ведущей точкѣ*, которая выбирается такимъ образомъ, чтобы при одномъ размахѣ поршня барабанъ N сдѣлалъ ровно одинъ оборотъ. Если машина имѣетъ параллелограммъ Уатта, то ведущая точка безъ труда находится на одной изъ его тягъ, напр., на контръ-балансирѣ; если же машина безъ коромысла, то прибѣгаютъ къ помощи вспомогательныхъ рычаговъ (деревянныхъ), которые получаютъ движеніе непосредственно отъ поршня, а къ нимъ уже прикрѣпляютъ свободный конецъ нити. При обратномъ ходѣ поршня широкая спиральная пружина S_1, прикрѣпленная однимъ концомъ къ барабану, а другимъ къ неподвижной оси его B, поворачиваетъ барабанъ N въ первоначальное положеніе. Ясно, что при такомъ устройствѣ перемѣщенія бумаги пропорціональны перемѣщеніямъ поршня. Бумага прижимается къ барабану N двумя плоскими пружинами n,n; при надѣваніи листа, его подводятъ подъ пружины и концы загибаютъ въ промежуткѣ между ними. Остается замѣтить, что карандашъ легко можетъ быть отведенъ отъ бумаги, для чего стоитъ только повернуть скобу M, заключающую весь механизмъ съ карандашомъ.

Легко видѣть, что если цилиндръ N *неподвиженъ*, то карандашъ начертитъ *производящую*; если же кранъ C закрытъ, такъ что давленія по обѣ стороны поршня индикатора равны между собою и равны атмосферному давленію, то при размахѣ пароваго поршня карандашъ не измѣнитъ своего положенія и начертитъ на поверхности бумаги *окружность*. Если открыть кранъ C, то карандашъ поднимется и при движеніи пароваго поршня взадъ и впередъ начертитъ на бумагѣ сомкнутую кривую, наз. *діаграммой индикатора*. На фиг. 239 представлена *діаграмма для машины съ расширеніемъ и охлажденіемъ пара*. Здѣсь MN представляетъ ту линію, которую чертитъ карандашъ при закрытомъ кранѣ, т. е. при давленіи на поршень A индикатора, равномъ одной атмосферѣ; она наз. *атмосферной линіей*. Когда кранъ открытъ, то карандашъ поднимается вверхъ на величину Ma. Во время движенія поршня въ одну сторону высота карандаша надъ MN по-



Фиг. 239.

степенно измѣняется сообразно съ измѣненіемъ давленія пара: ab есть горизонтальная линія, описанная въ теченіе *впуска рабочаго пара* въ цилиндръ, bc есть такъ наз. *индикаторная кривая расширенія*; она соотвѣтствуетъ періоду расширенія пара и, какъ показали многочисленные опыты надъ машинами съ паровою рубашкою, почти совпадаетъ съ такъ наз. *маріоттовскою кривою*, т. е. кривою, изображающею графически законъ Маріотта. Однако случаются болѣе или менѣе значительныя уклоненія индикаторной кривой расширенія отъ маріоттовской, причиною которыхъ служитъ неисправное состояніе машины (напр., негерметичность поршня золотниковъ, сильное нагрѣваніе или негерметичность холодильниковъ и т. п.). Въ точкѣ g давленіе расширяющагося пара равно атмосферному, въ концѣ расширенія упругость его менѣе атмосферы (около 0,5 атм.) и въ моментъ *выпуска* пара падаетъ вдругъ до давленія въ холодильникѣ (кс). При *обратномъ ходѣ* поршня давленіе почти не измѣняется, а потому линія cd почти параллельна MN. При концѣ обратнаго хода поршня опять впускаютъ паръ съ той же стороны поршня, какъ и при началѣ прямаго хода, при этомъ карандашъ сразу поднимается изъ d въ точку a. Наконецъ, линія ek есть *линія абсолютной пустоты* (вакуума); она наносится на діаграмму послѣ снятія бумаги по данному масштабу пружины.

Существенное отличіе индикаторной діаграммы отъ діаграммы, представленной на фиг. 236 заключается въ большемъ или меньшемъ *закругленіи угловъ* A, B и E, обусловливающемъ нѣкоторую потерю работы. Причина закругленій a и b (фиг. 239)—*торможеніе* пара (§ 262), производимое золотникомъ. При мертвомъ положеніи поршня золотникъ держитъ впускное окно открытымъ лишь на очень малую величину, вслѣдствіе чего паръ *тормозится*, т. е. при выходѣ черезъ съуженное отверстіе упругость его падаетъ; подобное торможеніе пара происходитъ вблизи отсѣчки, вслѣдствіе того, что золотникъ не сразу закрываетъ впускное окно, а постепенно. Наконецъ причина закругленія угла d состоитъ въ томъ, что вблизи мертвой точки поршня прекращается преждевременно выпускъ мятаго пара, при чемъ поршень сжимаетъ оставшійся невыпущеннымъ паръ, вслѣдствіе чего его упругость постепенно увеличивается.

По величинѣ площади abcd индикаторной діаграммы не трудно опредѣлить работу пара въ цилиндрѣ. Пусть f будетъ число кв. мм., заключающееся въ этой площади. Положимъ что одинъ миллиметръ перемѣщенія карандаша представляетъ p килогр., и что одинъ миллиметръ длины ek соотвѣтствуетъ пути l' метровъ, пройденному поршнемъ; тогда работа пара въ килограмметрахъ въ теченіе простого хода поршня будетъ: $f.p.l'$. Повторяя такой опытъ съ индикаторомъ нѣсколько разъ попеременно то съ одной, то съ другой стороны поршня, можно будетъ вывести наивѣроятнѣйшій ре-

зультатъ, взявъ среднюю ариѳметическую изъ этихъ наблюденій. Если машина двойнаго дѣйствія и дѣлаетъ въ минуту m оборотовъ, то работа въ секунду будетъ:

$$T_m = \frac{2fp l' m}{60} \text{ к. м., или } N_i = \frac{2fp l' m}{60.75} \text{ пар. л. . . (80)}$$

Опредѣленная такимъ способомъ работа N_i носитъ названіе *индикаторной работы*. Этотъ опытный способъ опредѣленія валовой работы паровой машины весьма часто употребляется въ практикѣ. Индикаторная работа, очевидно, меньше теоретической работы, вычисленной по формулѣ Понсле, такъ какъ при выводѣ послѣдней не была принята въ соображеніе потеря давленія при переходѣ пара изъ котла въ цилиндръ.

Отношеніе $k_i = \frac{N}{N_i}$ полезной работы машины, опредѣляемой помощью нажима Прони, къ индикаторной работѣ носитъ названіе *индикаторнаго коэфф. полезнаго дѣйствія машины*. Онъ измѣняется не только съ системою машины, но и для каждой машины съ ея скоростью; среднее значеніе его можетъ быть принято равнымъ 0,8.

Какъ было уже замѣчено, индикаторная діаграмма даетъ возможность не только опредѣлять работу пара, но и производить изслѣдованіе закона расширенія пара и провѣрку правильности дѣйствія внутреннихъ органовъ машины: золотниковъ, поршней, холодильника. При опытахъ съ индикаторомъ слѣдуетъ снимать діаграммы съ обоихъ концовъ цилиндра. Разница въ степени расширенія на обѣихъ діаграммахъ укажетъ на *неправильность установки* золотника. *Негерметичность золотника*, допускающая доступъ пара въ цилиндръ и послѣ отсѣчки, отразится на діаграммѣ повышеніемъ давленія пара къ концу хода; *негерметичность поршня*, допускающая течь рабочаго пара въ нерабочую часть цилиндра отразится повышеніемъ давленія мятаго пара; чрезмѣрное расширеніе пара дастъ *петлю* въъ углѣ c діаграммы, а чрезмѣрное сжатіе— *петлю* въ углѣ a и т. д.

272. Тепловое полезное дѣйствіе паровыхъ машинъ. Кромѣ *коэфф. механическаго полезнаго дѣйствія* паровыхъ машинъ, который измѣряется отношеніемъ полезной работы N машины къ теретической или индикаторной работѣ пара, для оцѣнки экономическаго достоинства паровыхъ машинъ служитъ такъ наз. *коэфф. тепловаго полезнаго дѣйствія*, который измѣряется *отношеніемъ полезной работы машины къ запасу энергіи топлива*, *сожигаемаго въ топкѣ*.

Для опредѣленія запаса энергіи топлива, необходимо знать: 1) количество теплоты, развиваемой топливомъ въ топкѣ и 2) такъ наз. *механическій эквивалентъ теплоты*, т. е. количество работы, получаемой изъ одной ед. теплоты, при преобразованіи теплоты въ механическую работу. Изъ

физики извѣстно, что *изъ одной ед. теплоты всегда получается 424 к. м. работы.* Поэтому, напр., въ *лучшихъ существующихъ машинахъ*, (Корлисса, Зульцера, Кольмана), въ которыхъ на 1 п. л. полезной работы расходуется въ часъ около 0,8 kg. кам. угля, имѣющаго теплотворную способность въ 7000 ед. т., *запасъ работы*, заключающійся въ этомъ количествѣ угля равенъ 0,8 . 424 . 7000 = 2374400 к. м. Но *полезная работа* машины равна 1 . 75 . 3600 = 270000 к. м., слѣд., *коеффиціентъ тепловаго полезнаго дѣйствія этихъ машинъ* $= \frac{270000}{2374400} = 0{,}1137$, т. е. изъ находящагося въ нашемъ распоряженіи запаса работы употребляется въ пользу только 11,37%. Въ *хорошихъ машинахъ* на каждую п. л. расходуется 2 kg. угля, слѣд., употребляется въ пользу только 4,5% запаса работы. Наконецъ, обыкновенныя машины расходуютъ около 4 kg. угля въ часъ на 1 п. л., слѣд., въ нихъ идетъ въ пользу лишь 2,8% запаса работы.

Этотъ способъ оцѣнки паровыхъ машинъ, предложенный впервые Редтенбахеромъ, даетъ полезное дѣйствіе всего устройства — котла и машины.

273. Опредѣленіе главнѣйшихъ размѣровъ паровой машины. Опредѣленіе размѣровъ цилиндра по данной силѣ N машины (полезной работѣ) производится на основаніи формулы Понсле:

$$75N = kP \frac{\pi D^2}{4} \frac{2ml_0}{60} \left(1 + \log \varepsilon - \frac{p}{P} \varepsilon\right),$$

откуда подставивъ вмѣсто $\frac{2ml_0}{60} = \frac{2ml}{60} \frac{l_0}{l} = \frac{2ml}{60} \frac{1}{\varepsilon} = \frac{c}{\varepsilon}$, гдѣ c есть средняя скорость поршня, найдемъ:

$$D = \sqrt{\frac{N\varepsilon \; 75 \, . \, 1{,}273}{\mu Pc \left(1 + \log \varepsilon - \frac{p}{P} \varepsilon\right)}} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (81)$$

При расчетѣ величинамъ, входящимъ въ составъ знаменателя, должно придать *наивыгоднѣйшія значенія*, опредѣляемыя изъ опыта.

Во-первыхъ, среднее давленіе p мятаго пара можетъ быть, согласно съ опытами, принято равнымъ p = 1,1 атм. для машинъ безъ охлажденія; p = 0,2 — для машинъ съ охлажденіемъ и p = 1,2 до 2 атм. для локомотивовъ, въ которыхъ мятый паръ встрѣчаетъ при выпускѣ значительныя сопротивленія.

При выборѣ скорости c, можно руководствоваться слѣдующею таблицею *(Рейхе)*:

обыкновенныя машины, при	$P \leq 5$ атм.,	c = 1	до	1,5 м.
„ „	$P > 5$ „	c = 1,5	„	2,5 „
паровозы		c = 3	„	4,4 „
прокатныя машины		c = 3	„	5,3 „
скороходящія „		c	до	5,7 „

Затѣмъ должно выбрать *наивыгоднѣйшую степень расширенія* ε. Величины ея для различныхъ машинъ приведены въ слѣдующей таблицѣ (*Грабака*):

N	Машины безъ охлажденія.					Машины съ охлажденіемъ.				
	7	20	60	180	Предѣлъ наивыгодн. отсѣчки.	7	20	60	180	Предѣлъ наивыгодн. отсѣчки.
P = 2 .	—	—	—	—	—	0,36	0,33	0,29	0,27	0,139
P = 3 .	0,45	0,44	0,42	0,41	0,367	0,33	0,29	0,26	0,24	0,133
P = 4 .	0,36	0,34	0,32	0,31	0,275	0,30	0,27	0,24	0,21	0,132
P = 6 .	0,33	0.29	0,27	0,25	0,183	0,27	0,25	0,21	0,18	0,130
P = 8 .	0,30	0,26	0,24	0,21	0,137	0,25	0,22	0,19	0,16	0,128

Число оборотовъ главнаго вала опредѣлится изъ формулы: $m = \frac{30\,c}{l}$, гдѣ длина хода l берется отъ 1,5 до 2,5 D. Если m и c даны, то $l = \frac{30\,c}{m}$.

Діаметръ d паропроводной трубы опредѣляется по условію, что площадь сѣченія ея $= \frac{1}{20}$ площади поршня, т. е.;

$$\frac{d^2}{1{,}273} = 0{,}05\ \frac{D^2}{1{,}273},\ \text{откуда}\ d = D\sqrt{0{,}05}.$$

Наконецъ, площадь каждаго изъ паровыхъ окошекъ дѣлается равною также 0,05 площади поршня, причемъ длина окна отъ 4 до 5 разъ болѣе ширины.

274. Маховики и регуляторы. Главный валъ паровой машины, на которомъ заклиненъ кривошипъ, вращается неравномѣрно. Причины неравномѣрности суть: 1) *измѣняемость давленія пара на поршень* (въ машинахъ съ расширеніемъ); эта причина дѣйствуетъ *періодически*, повторяясь правильно при каждомъ полуоборотѣ кривошипа; 2) *измѣняемость момента силы*, вращающей кривошипъ; эта причина имѣетъ также *періодическій* характеръ: при мертвомъ положеніи кривошипа моментъ этотъ равенъ нулю, затѣмъ, по выходѣ кривошипа изъ мертваго положенія, онъ увеличивается, достигая наибольшей величины близь средняго его положенія, далѣе уменьшается снова до нуля—при второмъ мертвомъ положеніи мотыля и т. д; 3) *измѣняемость работы сопротивленія*. Эти измѣненія могутъ быть *періодическія* и *непрерывныя* (напр., вслѣдствіе отцѣпки нѣсколькихъ станковъ).

Если причины неравномѣрности дѣйствуютъ *періодически*, то и скорость машины будетъ измѣняться *періодически* въ болѣе или менѣе широкихъ предѣлахъ. Въ подобныхъ случаяхъ для уравни-

ванія хода машины употребляется *маховикъ*, представляющій чугунное колесо большаго вѣса, заклиненное на главномъ валу машины. *Маховое колесо уравниваетъ движеніе своею живою силою.* Когда движущая работа сдѣлается больше работы сопротивленій, то избытокъ работы двигателя произведетъ увеличеніе живой силы, а, слѣд., и увеличеніе скорости частей машины; но если къ машинѣ присоединенъ маховикъ, то увеличеніе живой силы распредѣлится между органами машины и маховикомъ, а потому увеличеніе скорости частей машины необходимо будетъ менѣе, нежели въ томъ случаѣ, когда маховика не существуетъ. Наоборотъ, когда является избытокъ работы сопротивленій, живая сила, а, слѣд., и скорость частей машины уменьшаются, но это уменьшеніе, распредѣляясь и на массу маховика, будетъ меньше, нежели когда маховика не существуетъ; отсюда видно, что *дѣйствіе маховика состоитъ въ уменьшеніи разницы между наибольшею и наименьшею скоростью вала, ограничивая эти крайнія скорости тѣсными предѣлами.*

Въ машинахъ, въ которыхъ сопротивленіе увеличивается отъ времени до времени до громадной величины, какъ, напр., въ прокатныхъ станкахъ, ножницахъ, комарахъ, маховикъ играетъ весьма важную роль какъ *собиратель* живой силы. Передъ началомъ прокатки машину пускаютъ въ ходъ порожнемъ, причемъ маховикъ, скорость котораго все увеличивается, накопляетъ весьма значительный запасъ работы, въ видѣ живой силы. Во время прокатки этотъ запасъ расходуется на преодолѣніе огромнаго сопротивленія, представляемаго прокатываемымъ листомъ желѣза.

Если работа сопротивленій увеличивается или уменьшается *на продолжительное время*, то скорость вала и маховика будетъ непрерывно увеличиваться или уменьшаться: *движеніе машины будетъ перемѣнное*; въ подобныхъ случаяхъ маховикъ не въ состояніи сохранить валу его нормальную скорость; для этой цѣли прибѣгаютъ, въ помощь маховикамъ, къ устройству *регуляторовъ, которые дѣйствуютъ на двигатель*, измѣняя его работу соотвѣтственно измѣненію работы сопротивленій, т. е. увеличиваютъ работу двигателя при возрастаніи работы сопротивленій и наоборотъ. Напр., въ паровыхъ машинахъ регуляторъ, открывая болѣе или менѣе поворотный клапанъ, установленный въ паропроводной трубѣ регулируетъ количество пара, притекающаго въ паровой цилиндръ (§ 276). Въ гидравлическихъ моторахъ регуляторъ, поднимая или опуская щитъ, измѣняетъ притокъ воды къ мотору, въ зависимости отъ скорости его движенія.

275. Вѣсъ маховика. Маховое колесо, подобно шкивамъ, состоитъ изъ обода, спицъ и втулки. При расчетѣ вѣса маховика обыкновенно пренебрегаютъ вѣсомъ спицъ и втулки, а массу обода предполагаютъ равномѣрно распредѣленною на средней окружности обода. Назовемъ буквою R радіусъ этой окружности и пусть ω_2

и ω_1 будутъ наибольшая и наименьшая величина угловой скорости маховика въ теченіе періода, а ω—*нормальная* угловая скорость его, т. е. та, *которая соотвѣтствуетъ наивыгоднѣйшему дѣйствію машины;* тогда $\omega_2 - \omega_1$ представитъ наибольшее измѣненіе угловой скорости маховика. Отношеніе этого измѣненія къ нормальной скорости:

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega} = \delta \text{ . . . . . (a)}$$

наз. *степенью неравномѣрности* движенія.

Пусть T будетъ избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленій, происшедшій во время перехода отъ скорости ω_1 къ ω_2, и P—вѣсъ обода маховика. Тогда получимъ, по закону живыхъ силъ:

$$T = \frac{P}{2g} R^2 \left\{ \omega_2^2 - \omega_1^2 \right\} = \frac{P}{2g} R^2 \left\{ \omega_2 + \omega_1 \right\} \left\{ \omega_2 - \omega_1 \right\}.$$

Если разность $\omega_2 - \omega_1$ невелика, то полусумму $\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}$, т. е. среднюю ариѳметическую крайнихъ угловыхъ скоростей, можно принять равною нормальной угловой скорости ω, величинѣ постоянной, которую будемъ предполагать извѣстною. Поэтому получимъ, принявъ во вниманіе равенство (a),

$$T = \frac{P}{g} R^2 \omega^2 \delta,$$

откуда

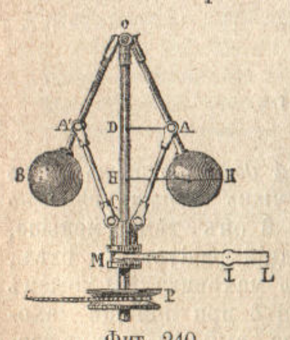
$$P = \frac{Tg}{\delta R^2 \omega^2} \text{ . . . . (82)}$$

Эта формула показываетъ, что *вѣсъ маховика долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ больше избытокъ работы* T и *чѣмъ меньше степень неравномѣрности* δ; но при тѣхъ же T и δ онъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше угловая скорость его ω и средній радіусъ R; слѣд., увеличивая радіусъ R и угловую скорость ω маховика, мы можемъ достигнуть данной степени неравномѣрности δ при помощи маховика меньшаго вѣса, вслѣдствіе чего машина выйдетъ менѣе громоздкою и треніе въ цапфахъ будетъ менѣе. Но должно замѣтить, что это увеличеніе радіуса имѣетъ свой предѣлъ, ибо вмѣстѣ съ R и ω увеличивается центробѣжная сила, которая можетъ повести даже къ разрыву маховика. По Морену, скорость на средней окружности маховика можетъ безопасно достигнуть 25—30 метровъ въ сек., но никогда не должна превосходить этого наибольшаго предѣла. Что касается степени неравномѣрности δ, то величина ея опредѣляется главнымъ образомъ *условіями даннаго производства.*

Наименьшая степень неравномѣрности допускается въ машинахъ для *бумагопрядиленъ*, *ткацкихъ*, *писчебумажныхъ* и др., фабрикъ, гдѣ требуется большая правильность движенія; величину δ принимаютъ отъ $\frac{1}{50}$ до $\frac{1}{60}$ и даже до $\frac{1}{100}$ (для бумагопрядиленъ очень тонкихъ номеровъ); въ машинахъ служащихъ *для обработки металловъ*, допускаютъ δ около $\frac{1}{30}$; для *водоподъемныхъ*, *лѣсопильныхъ* и т. п. машинъ $\delta =$ отъ $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{25}$.

го касается устройства маховика, то при діаметрахъ не $>$ 3 м. всѣ части его отливаются заодно, при діаметрахъ отъ 3 до 6 м. маховое колесо изготовляется изъ двухъ частей, а болѣе 6 м.—изъ нѣсколькихъ, которыя прочно скрѣпляются накладками (на косяки обода), хомутами (на части втулки), болтами и клиньями, подобно тому какъ скрѣпляются части большихъ зубчатыхъ колесъ и шкивовъ. Наконецъ замѣтимъ, что такъ какъ случается нерѣдко, что кривошипъ при забастовкѣ останавливается въ мертвой точкѣ, вслѣдствіе чего приходится при началѣ пуска машины въ ходъ поворачивать руками маховикъ, съ цѣлью свести кривошипъ съ мертвой точки, то на окружности обода маховика нерѣдко дѣлаются гнѣзда, въ которыя вставляютъ рычагъ, облегчающій поворачиваніе маховика.

276. Центробѣжный регуляторъ Уатта [1]). Регуляторъ этотъ состоитъ изъ вертикальной оси OD (фиг. 240), получающей вращательное движеніе отъ главнаго вала машины при помощи пары зубчатыхъ колесъ или гибкаго привода. Къ оси OD прикрѣплены въ O два равныхъ стержня OA,OA′, къ концамъ которыхъ подвѣшены два шара B,B равнаго вѣса. Стержни OA,OA′ сочленены съ двумя другими стержнями AC,A′C′, которые въ свою очередь сочленены съ муфтою M, могущею свободно перемѣщаться вдоль оси OD. Вмѣстѣ съ послѣднею вращаются и стержни OA,OA′ съ привѣшенными къ нимъ шарами. При уменьшеніи работы сопротивленія будетъ



Фиг. 240.

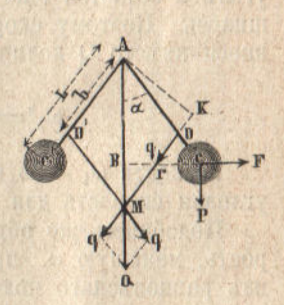
увеличиваться угловая скорость главнаго вала машины, а, слѣд., и оси OD, причемъ увеличивается центробѣжная сила шаровъ и заставляетъ ихъ удаляться отъ оси вращенія и подниматься вверхъ; съ увеличеніемъ же работы сопротивленій будетъ умень-

---

[1]) По указанію Рюльмана, центробѣжный регуляторъ съ давнихъ поръ употреблялся въ англійскихъ вѣтряныхъ мельницахъ. Къ паровымъ машинамъ онъ былъ примѣненъ Уаттомъ въ 1781 г.

шаться угловая скорость оси OD, а, слѣд., и центробѣжная сила шаровъ, вслѣдствіе чего они опускаются, приближаясь къ оси OD. Поднятіе или опусканіе шаровъ сопровождается поднятіемъ или опусканіемъ муфты M, движеніе которой сообщается вилообразному рычагу MJL, вращающемуся около неподвижной оси J; другой конецъ рычага соединенъ при помощи системы рычаговъ съ поворотнымъ клапаномъ, установленнымъ въ паропроводной трубѣ. Соединеніе это устроено такимъ образомъ, что при увеличеніи угловой скорости оси OD, слѣд., *при поднятіи шаровъ*, поворотный клапанъ отчасти *закрывается*, причемъ давленіе пара, влѣдствіе съуженія отверстія понижается и уменьшается количество *(по вѣсу)* притекающаго къ поршню пара. При уменьшеніи угловой скорости главнаго вала (при опусканіи шаровъ) клапанъ *открывается* и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается упругость и количество *(по вѣсу)* поступающаго въ цилиндръ пара. Легко видѣть, что разсмотрѣнное дѣйствіе регулятора основано на управленіи *вѣсомъ* поступающаго въ цилиндръ пара, между тѣмъ какъ *объемъ* его остается тотъ же самый, такъ какъ регуляторъ не измѣняетъ отсѣчки.

277. Степень нечувствительности регулятора. Вѣсъ шаровъ. Пусть P (фиг. 241) будетъ вѣсъ шаровъ регулятора, Q—вѣсъ его муфты и α—уголъ, образуемый стержнемъ AC съ валомъ AM, при *нормальной угловой скорости* регулятора, соотвѣтствующей равномѣрному ходу машины съ ея нормальною скоростью ω. Вѣсъ Q муфты можетъ быть разложенъ на двѣ равныя составляющія q, направленныя по MD и MD′; силы q можно перенести въ D и D′. Таким образомъ, на стержень AC будутъ дѣйствовать три слѣдующія силы: 1) сила q, приложенная въ D и направленная по MD, 2) вѣсъ P шара C и 3) центробѣжная сила F шара, равная $\frac{P}{g}\omega^2 r$,



Фиг. 241.

гдѣ r есть разстояніе центра шара отъ оси AM (вѣса самого стержня AC и тренія въ сочлененіяхъ въ расчетъ не принимаемъ). Для *равновѣсія стержня* AC сумма моментовъ всѣхъ силъ относительно точки привѣса A должна быть равна нулю, т. е.:

$$Pr + q.Ak - F.AB = O;$$

обозначивъ AC буквою L, AD = MD буквою b и замѣнивъ q равною ему величиною $\frac{Q}{2\mathrm{Cos}\alpha}$ получимъ:

$$\frac{P}{g}\,\omega^2.L\mathrm{Sin}\alpha.L\mathrm{Cos}\alpha = PL\mathrm{Sin}\alpha + \frac{Qb\mathrm{Sin}2\alpha}{2\mathrm{Cos}\alpha},$$

откуда:

$$\omega^2 = \frac{g}{LCos\alpha}\left\{1+\frac{Qb}{PL}\right\} \ldots . (a)$$

Это уравненіе даетъ уголъ α, при которомъ *шары будутъ въ равновѣсіи*, т. е. будутъ вращаться равномѣрно съ угловою скоростью ω, соотвѣтствующею равномѣрному ходу машины съ нормальною скоростью.

Когда угловая скорость регулятора сдѣлается больше или меньше опредѣляемой изъ уравн. (а), то центробѣжная сила шаровъ измѣняется въ томъ же смыслѣ, но шары регулятора при этомъ не вдругъ начнутъ подниматься или опускаться: они могутъ подниматься или опускаться, лишь преодолѣвъ сопротивленіе рычага и клапана перемѣщенію. Это сопротивленіе дѣйствуетъ на муфту и его можно разсматривать какъ прибавку въ вѣсѣ муфты; назовемъ ее буквою р. Понятно теперь, что муфта начнетъ подниматься только тогда, когда центробѣжная сила шаровъ увеличится на столько, что въ состояніи будетъ преодолѣть свой вѣсъ и сумму давленій $Q + p$. Назовемъ угловую скорость ихъ при этомъ буквою ω_2; очевидно, что ω_2 больше ω. До момента, пока угловая скорость не сдѣлается равною ω_1, шары не перемѣщаются и, слѣд., уголъ α остается еще тотъ же, т. е. равновѣсіе системы не нарушилось. Поэтому скорость ω_2 можно опредѣлить по формулѣ (а), внеся вмѣсто Q количество $Q+p$, тогда получимъ:

$$\omega_2{}^2 = \frac{g}{LCos\alpha}\left\{1+\frac{(Q+p)b}{PL}\right\} \ldots\ldots (b)$$

Разность $\omega_2 - \omega$ показываетъ на сколько должна измѣниться угловая скорость для того, чтобы началось движеніе муфты.

Подобнымъ же образомъ, если обозначимъ буквою ω_1 ту скорость, меньшую ω, при которой муфта можетъ начать опускаться изъ равновѣснаго положенія внизъ, то такъ какъ сопротивленіе р дѣйствуетъ по направленію, обратному дѣйствію вѣса муфты, можемъ написать для опредѣленія ω_1 уравненіе:

$$\omega_1{}^2 = \frac{g}{LCos\alpha}\left\{1+\frac{(Q-p)b}{PL}\right\} \ldots\ldots (c)$$

Пока угловая скорость мѣняется, не выходя изъ предѣловъ ω_2 и ω_1, до тѣхъ поръ *шары не подымаются и не опускаются*, т. е. регуляторъ не регулируетъ хода машины. Чѣмъ меньше будетъ разность $\omega_2 - \omega_1$ въ сравненіи съ нормальною скоростью ω, тѣмъ регуляторъ будетъ *чувствительнѣе* и движеніе машины ближе къ равномѣрному. Понятно, что регуляторъ долженъ быть настолько чувствителенъ, чтобы могъ ограничить измѣненія скорости машины извѣстными предѣлами, удовлетворяющими требованіямъ даннаго

производства. Пусть требуется, чтобы разность $\omega_2 - \omega_1$ составляла не болѣе n—ой доли нормальной угловой скорости регулятора ω, т. е.: $\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega} = \frac{1}{n} = \delta'$. Дробь δ' наз. *степенью нечувствительности* регулятора. Легко видѣть, что эта степень будетъ тѣмъ меньше (регуляторъ тѣмъ чувствительнѣе), чѣмъ больше ω, а, слѣд., чѣмъ больше число оборотовъ регулятора. При выборѣ дроби δ' должно имѣть въ виду, чтобы она не была меньше степени неравномѣрности δ маховика, т. е. чтобы чувствительность регулятора не лежала бы внутри предѣловъ регулированія маховикомъ. Состояніе равновѣсія шаровъ должно нарушаться только тогда, когда измѣненіе скорости превыситъ предѣлы, при которыхъ маховикъ еще можетъ регулировать. Въ противномъ случаѣ (при $\delta' < \delta$) муфта будетъ находиться въ постоянномъ колебаніи, способствующемъ скорому изнашиванію механизма.

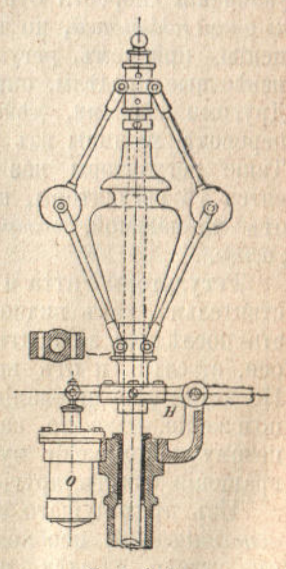
Если разность $\omega_2 - \omega_1$ невелика, то можно принять, подобно тому какъ въ маховикахъ, $\frac{\omega_2 + \omega_1}{2} = \omega$. Вычитая теперь ур. (c) изъ (b), получимъ: $\omega^2_2 - \omega^2_1 = g\frac{2pb}{PL^2 \cos\alpha}$. Раздѣляя же это послѣднее равенство на (a), найдемъ:

$\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{\omega^2} = 2\delta' = \frac{2pb}{PL + Qb}$, откуда:

$$P = \left(\frac{p}{\delta'} - Q\right)\frac{b}{L} \quad . \; . \; . \; . \; (83)$$

Изъ этого ур. видно, что *вѣсъ P шаровъ долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ больше то давленіе p, которое муфта должна производить на приводъ, чтобы повернуть клапанъ, чѣмъ менѣе степень нечувствительности δ', чѣмъ болѣе отношеніе $\frac{b}{L}$ и чѣмъ менѣе вѣсъ муфты.*

278. Регуляторъ Портера. Изъ предыдущаго § видно, что увеличеніемъ вѣса муфты можно достигнуть уменьшенія вѣса шаровъ, не уменьшая чувствительности регулятора. Уменьшеніе же вѣса шаровъ желательно въ томъ отношеніи, что вмѣстѣ съ нимъ уменьшатся размѣры спицъ, вслѣдствіе чего регуляторъ получитъ болѣе компактное устройство, нежели регуляторъ Уатта. Регуляторы съ тяжелою муфтою (A, фиг. 242) и съ маленькими шарами были устроены впервые американцемъ *Портеромъ*. Какъ видно изъ фор-



Фиг. 242.

мулы (a, § 277), чѣмъ меньше вѣсъ шаровъ регулятора, тѣмъ больше должна быть его угловая скорость; поэтому регуляторы Портера сажаются на быстровращающіяся оси; они дѣлаютъ отъ 100 до 300 оборотовъ въ мин., между тѣмъ какъ регуляторы Уатта дѣлаютъ лишь отъ 30 до 75 оборотовъ въ минуту.

279. Катарактъ. При нарушеніи равновѣсія шаровъ и муфты, эта послѣдняя не сразу останавливается въ новомъ равновѣсномъ положеніи, но, вслѣдствіе того что, подъ вліяніемъ инерціи, шары нѣсколько переходятъ его, муфта колеблется нѣкоторое время около равновѣснаго положенія. Замѣчено, что въ регуляторахъ съ легкою муфтою эти колебанія больше, нежели въ американскихъ регуляторахъ. Съ цѣлью сдѣлать движеніе регулятора болѣе спокойнымъ, нерѣдко при нихъ устраивается такъ наз. *катарактъ*, въ видѣ небольшаго цилиндрика O, наполненнаго масломъ или воздухомъ и снабженнаго поршнемъ, который не плотно ходитъ въ цилиндрѣ, такъ что при его движенія масло будетъ переливаться изъ одной части цилиндрика въ другую, проходя между стѣнами цилиндрика и поршнями и встрѣчая при этомъ большее или меньшее сопротивленіе.

280. Статическіе и астатическіе регуляторы. Всѣ регуляторы могутъ быть раздѣлены на двѣ группы: на *статическіе* и *астатическіе*. Къ первымъ относятся тѣ, которые послѣ извѣстнаго уклоненія скорости отъ нормальной величины, *не возвращаютъ ее къ этой послѣдней*, но только препятствуютъ дальнѣйшему ея уклоненію, при чемъ, регуляторъ не допускаетъ скорость переходить извѣстные предѣлы, опредѣляемые степенью его чувствительности. Другими словами, дѣйствіе такихъ регуляторовъ заключается въ переводѣ машины изъ одного равномѣрнаго движенія въ другое. Такіе регуляторы наз. *статическими*. Ко второй группѣ относятся тѣ регуляторы, которые послѣ всякаго уклоненія скорости отъ нормальной, *возвращаютъ машину къ этой послѣдней скорости*.

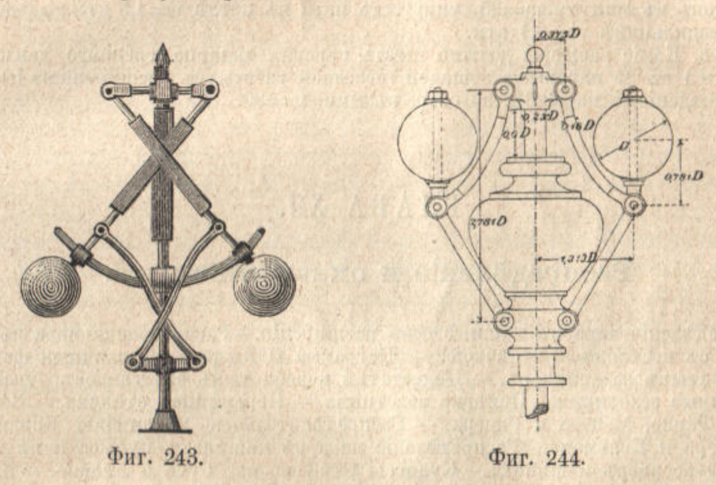
Регуляторы Уатта и Портера суть *статическіе регуляторы*. Дѣйствительно, какъ видно изъ формулы для угловой скорости (§ 277), эта послѣдняя зависитъ отъ угла α, т. е. отъ положенія муфты на оси, а, слѣд., и отъ положенія клапана въ паропроводной трубѣ. Но когда регулированіе совершится, клапанъ будетъ имѣть другое положеніе, чѣмъ то, какое было до начала измѣненія скорости, а потому и положеніе муфты, а вмѣстѣ съ нею уголъ α и скорость вращенія будутъ другіе.

Изъ предыдущаго ясно, что для того, чтобъ регуляторъ былъ *астатическій*, необходимо, чтобы угловая скорость не зависѣла отъ угла α, а, слѣд., и отъ положенія муфты и клапана. Изслѣдованіе показываетъ, что для этого необходимо, чтобы шары регулятора двигались при поднятіи не по окружности, а по одной общей

параболъ, вершина которой лежитъ на оси OD. Такіе регуляторы получили названіе *параболическихъ*, или регуляторовъ *Франке*, по имени изобрѣтателя (1848 г.). Однако они не вошли въ большое употребленіе по причинѣ затруднительности изготовленія.

281. Псевдоастатическіе регуляторы Фаркò и Прѐлля. Въ настоящее время наибольшее распространеніе получили такъ наз. *псевдоастатическіе* регуляторы, въ которыхъ дуга параболы замѣнена дугою круга, близко подходящаго къ параболѣ.

На фиг. 243 представленъ псевдопараболическій регуляторъ *Фаркò* съ перекрещенными ручками. Точки привѣса шаровъ, служащія въ тоже время центрами ихъ дугъ, расположены по разныя стороны оси регулятора.



Фиг. 243. Фиг. 244.

Болѣе компактное устройство представляетъ регуляторъ *Прѐлля* (фиг. 244) съ тяжелою муфтою и шарами, укрѣпленными на концахъ загнутыхъ кверху спицъ.

ЗАДАЧИ.

93. Какъ велико давленіе пара на поршень, діаметръ котораго=0,785 м., если упругость пара = 3 атм.?

94. Въ машинѣ низкаго давленія безъ расширенія, но съ холодильникомъ, упругость пара въ котлѣ = $1^1/_6$ атм., а въ холод. $^1/_8$ атм., діаметръ поршня D=2′ длина хода l=5′ и число оборотовъ въ минуту m = 20. Какъ велика полезная работа машины?

95. Какъ велика полезная работа машины низкаго давленія съ холодильникомъ, но безъ расширенія, діаметръ поршня которой D = 34″, длина хода l=6′, давленіе пара въ котлѣ 24,4 фунта, а въ холодильникѣ 4 фунта на кв. дюймъ; котелъ производитъ въ минуту 56,12 фунт. пара.

96. Сколько оборотовъ дѣлаетъ эта машина въ минуту?

97. Какую полезную работу доставитъ машина зад. 94, работая съ расширенiемъ ($\varepsilon = 2$).

98. Какъ велика полезная работа, доставляемая машиною съ расширенiемъ, но безъ холодильника, если котелъ производитъ въ минуту 15 kgl. пара упругостью въ 5 атмосферъ и если отсѣчка производится на $^1/_3$ хода поршня?

99. Сколько оборотовъ дѣлаетъ эта машина если дiаметръ поршня $D = 0,6$ м. и длина хода $l = 1,2$ м.?

100. Опредѣлить среднее давленiе пара на поршень въ предъидущей машинѣ.

101. Какъ велика полезная работа и число оборотовъ предъидущей машины, если она работаетъ безъ расширенiя?

102. Опредѣлить полезную работу машины съ коромысломъ, перемѣннымъ расширенiемъ (ε отъ 2 до 5) и охлажденiемъ пара, для крайнихъ предѣловъ расширенiя. Дано: дiаметръ поршня $D=0,4$ м., ходъ $l=0,9$ м., число оборотовъ въ минуту $m=35$, упругость пара въ котлѣ $n=4,5$ атм.; давленiе въ холодильникѣ $n'=0,1$ атм.

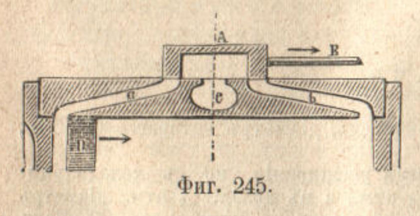
103. Какiе размѣры должна имѣть паровая машина средняго давленiя (3,5 атм.) въ 25 паровыхъ лошадей (полезной работы) съ расширенiемъ ($\varepsilon=3$) и охлажденiемъ пара? Число обор. въ мин. $m=30$.

ГЛАВА XII.

Распредѣленiе и охлажденiе пара.

Распредѣленiе пара въ машинѣ безъ расширенiя.—Распредѣленiе пара въ машинѣ съ постоянною отсѣчкою. — Дiаграмма Цейнера. — Различныя формы коробчатыхъ золотниковъ. — Недостатки коробчатыхъ золотниковъ; уравновѣшенные золотники.—Повѣрка золотника. — Перемѣнная отсѣчка. — Золотники Фаркò, Мейера и Ридера. — Распредѣлительные механизмы Корлисса, Зульцера и Кольмана.—Распредѣленiе пара въ машинахъ Вульфа и въ компаундъ-ресиверъ машинахъ.—Кулиссы Стифенсона, Гуча и Аллана. — Холодильники: съ внутреннимъ охлажденiемъ, поверхностные и водоструйные.

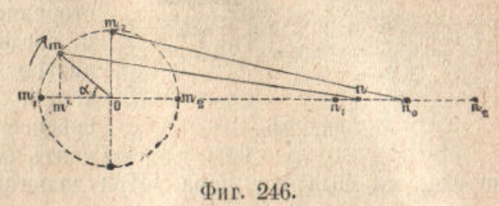
282. Распредѣленiе пара въ машинѣ безъ расширенiя. *Въ машинѣ безъ расширенiя* распредѣленiе пара производится простымъ *коробчатымъ золотникомъ* A (фиг. 245), получающимъ движенiе отъ эксцентрика, насаженнаго на главный валъ машины, при помощи тяги, соединенной со штокъ B золотника.



Фиг. 245.

Пусть $m_1 m_0 m_2$ (фиг. 246) будетъ окружность, описываемая геометрическимъ центромъ эксцентрика и mn—тяга эксцентрика. Положимъ, что эксцентрицитетъ занимаетъ начальное положенiе Om_1, а конецъ тяги положенiе n_1. При поворотѣ эксцентрицитета на уголъ α въ положенiе Om, конецъ тяги перейдетъ изъ n_1 въ n;

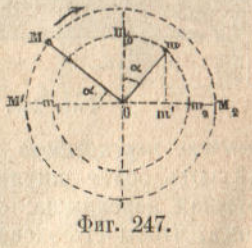
слѣд., золотникъ перемѣстится на величину n_1n. Обыкновенно длина тяги mn въ нѣсколько разъ больше эксцентрицитета Om, поэтому, разсматривая эксцентрикъ какъ кривошипъ, радіусъ котораго равенъ эксцентрицитету $Om=r$, можно принимать безъ чувствительной погрѣшности перемѣщенія золотника равными перемѣщеніямъ горизонтальной проекціи центра эксцентрика (§ 74); слѣд., можно принять $n_1n=m_1m'$. Ясно, что *полный ходъ золотника* въ теченіе полуоборота вала будетъ $=2r$. При поворотѣ эксцентрицитета на 90^0, т. е. въ положеніе Om_0, перпендикулярное къ m_1m_2, перемѣщеніе горизонтальной проекціи центра эксцентрика будетъ равно $m_1O=r$; въ это время конецъ тяги эксцентрика займетъ положеніе n_0, отстоящее отъ n_1 на длину r, т. е. на половину хода золотника. *Итакъ, когда эксцентрицитетъ перпендикуляренъ къ линіи m_1m_2 мертвыхъ точекъ, золотникъ находится въ своемъ среднемъ положеніи.*



Фиг. 246.

Предположимъ, что разстояніе между наружными краями золотника равно разстоянію между наружными краями паровыхъ окошекъ, а ширина закраинъ его равна ширинѣ окошекъ; пусть эксцентрицитетъ r равенъ ширинѣ окна, а эксцентрикъ заклиненъ на валу такимъ образомъ, что его эксцентрицитетъ составляетъ съ кривошипомъ уголъ въ 90^0. При такомъ устройствѣ, ясно, что когда пуговка кривошипа, а, слѣд. и поршень, будутъ находиться въ мертвой точкѣ, золотникъ будетъ занимать *среднее свое положеніе*. Положимъ, что при этомъ оба впускные канала закрыты (фиг. 245), слѣд., *нѣтъ ни впуска, ни выпуска пара*.

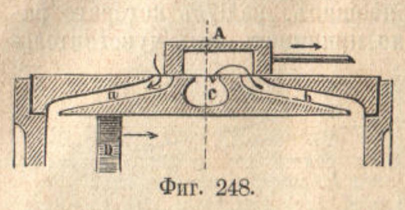
Съ движеніемъ кривошипа OM по стрѣлкѣ (фиг. 247), золотникъ начнетъ двигаться вправо отъ средняго положенія, причемъ лѣвый каналъ a мало по малу открывается въ распредѣлительную коробку, тогда какъ каналъ b сообщается съ выпускнымъ каналомъ c: паръ входитъ въ лѣвую часть цилиндра и поршень движется вправо, выталкивая мятый паръ изъ правой части цилиндра въ отводный каналъ c (фиг. 248).



Фиг. 247.

При поворотѣ кривошипа на уголъ α, оба окошка будутъ открыты на величину $Om'=r \sin\alpha$; при $\alpha=90^0$ эксцентрицитетъ Om придетъ въ правое мертвое положеніе Om_2, а поршень совершитъ около половины своего размаха (§ 74). Въ это время золотникъ займетъ крайнее правое положеніе, при которомъ оба окна вполнѣ

открыты: *впускъ и выпускъ пара продолжаются.* Когда поршень изъ средняго своего положенія начнетъ двигаться къ своей правой



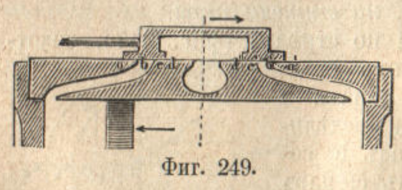
Фиг. 248.

мертвой точкѣ, золотникъ начинаетъ уже двигаться назадъ и постепенно задвигаетъ оба окошка, и когда поршень будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ, золотникъ займетъ свое среднее положеніе: въ этотъ моментъ окошки закрыты и нѣтъ ни впуска, ни выпуска пара. При дальнѣйшемъ вращеніи вала, золотникъ передвигается влѣво отъ своего средняго положенія, начинается *впускъ въ правую часть цилиндра и выпускъ изъ львой:* поршень пойдетъ справа налѣво и т. д.

Изъ всего сказаннаго ясно, что паръ впускается и выпускается на всей длинѣ хода поршня, т. е. дѣйствуетъ *безъ расширенія.*

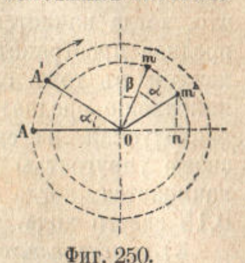
283. Распредѣленіе пара въ машинѣ съ постоянною отсѣчкою. Въ настоящее время почти всѣ машины дѣлаются съ отсѣчкою пара, представляющею ту выгоду, что паръ, прежде выхода изъ цилиндра, развиваетъ работу расширеніемъ. Въ машинахъ же безъ отсѣчки вся работа, которая могла бы произойти отъ расширенія, теряется. Отсюда видно, что при одинаковомъ расходѣ пара машина съ расширеніемъ доставитъ больше работы, нежели машина безъ расширенія.

Распредѣленіе пара въ машинѣ съ *постоянною отсѣчкою*, т. е. такою, которая происходитъ всегда на одной и той же части хода поршня, достигается разсмотрѣннымъ выше коробчатымъ золотникомъ, въ которомъ дѣлаются слѣдующія измѣненія: 1) *ширина закраинъ* золотника дѣлается нѣсколько больше ширины паровыхъ окошекъ, лапы

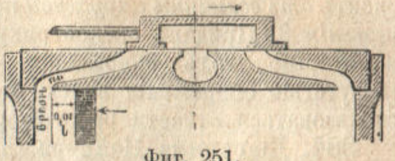

Фиг. 249.

его выступаютъ за края окошекъ наружу на величину ab=a′b′ (фиг. 249) и внутрь на величину cd==c′d′. Длина ab наз. *наружною* или такъ что когда золотникъ находится въ среднемъ положеніи, то *внѣшнею перекрышею*, а cd—*внутреннею перекрышею* золотника; 2) *эксцентрицитетъ* эксцентрика дѣлаютъ болѣе ширины окна, именно равнымъ ширинѣ окна + наружная перекрыша; 3) *эксцентрикъ* ставятъ на валу такимъ образомъ, чтобы его эксцентритетъ составлялъ съ кривошипомъ OA не прямой, а тупой уголъ, т. е. не въ положеніи Om_0 (фиг. 246), а въ положеніи Om (фиг. 250). Уголъ β наз. *угломъ опереженія* эксцентрика. При такомъ устройствѣ золотника и расположеніе кривошипа и эксцентрика распредѣленіе пара происходитъ слѣдующимъ образомъ:

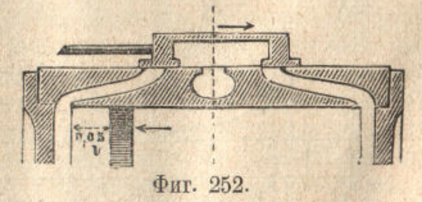
1) въ то время, когда поршень находится въ правой или лѣвой мертвой точкѣ, *каналы для впуска пара въ правую или лѣвую часть цилиндра уже нѣсколько открыты*, вслѣдствіе существованія угла β опереженія эксцентрика, заставляющаго золотникъ забѣгать въ своемъ движеніи впередъ. При предыдущемъ распредѣленіи нельзя заставить поршень начать двигаться отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара, такъ какъ паръ начинаетъ входить въ цилиндръ въ тотъ же моментъ, когда поршень выходитъ изъ своей мертвой точки, и притомъ паръ начинаетъ входить весьма узкимъ отверстіемъ, вслѣдствіе чего поршень долженъ пройти нѣкоторый путь, прежде чѣмъ установится полное давленіе пара. При существованіи *опереженія впуска* поршень начинаетъ двигаться отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара, которое успѣетъ къ началу обратнаго хода поршня установиться во вредномъ пространствѣ. *Притокъ контръ-паровъ* представляетъ еще ту выгоду, что впущенный заранѣе паръ постепенно замедляетъ ходъ поршня и тѣмъ заставляетъ его пройти черезъ мертвую точку болѣе плавнымъ образомъ. Впускъ паровъ начинается обыкновенно, когда поршень не дошелъ до конца своего хода на 0,01 длины размаха (фиг. 251);



Фиг. 250.


Фиг. 251.

2) *каналы для выпуска пара изъ лѣвой или правой части цилиндра* также уже нѣсколько открыты (*опереженіе выпуска*) въ то время, когда поршень находится въ правой или лѣвой мертвой точкѣ. Если бы не было опереженія *выпуска* (какъ въ предыдущемъ распредѣленіи), то при обратномъ движеніи поршень встрѣчалъ бы значительное сопротивленіе, такъ какъ мятый паръ начиналъ бы выходить только въ тотъ моментъ, когда поршень выходитъ изъ мертвой точки; поршень долженъ былъ бы пройти изъ мертвой точки нѣкоторый путь, прежде чѣмъ съ нерабочей стороны установится давленіе атмосферы или холодильника, ибо паръ вначалѣ выходитъ весьма узкимъ отверстіемъ. Обыкновенно выпускъ начинается на 0,03 хода поршня (фиг. 252);

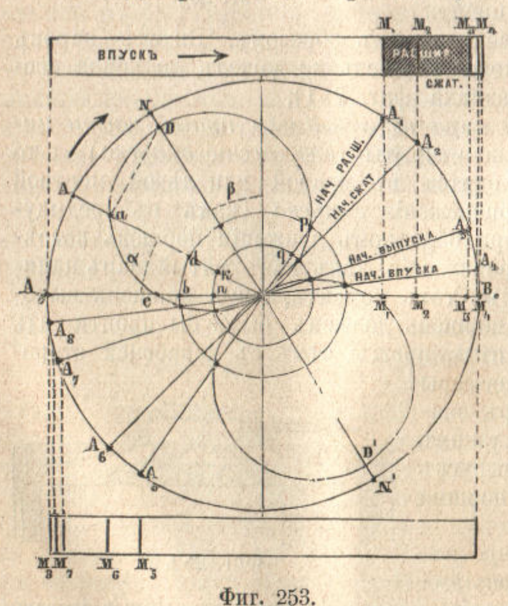

Фиг. 252.

3) *выпускъ мятаго пара прекращается раньше прихода поршня въ его мертвую точку*, вслѣдствіе чего происходитъ *сжатіе* мятаго пара, которое продолжается до момента, соотвѣтствующаго началу

опереженія впуска свѣжаго пара. Существованіе сжатія мятаго пара весьма полезно въ томъ отношеніи, что способствуетъ ослабленію удара подъ конецъ размаха поршня и уменьшаетъ расходъ пара, ибо при сжатіи мятаго пара упругость его увеличивается, такъ что, когда начнется впускъ пара въ правую часть цилиндра, то вредное пространство будетъ наполнено паромъ бóльшей упругости, нежели въ томъ случаѣ, когда сжатія нѣтъ; вслѣдствіе этого на наполненіе вреднаго пространства тратится меньше пара. Работа, расходуемая на сжатіе, не потеряна, потому что сжатый паръ своею упругостью возстановляетъ эту работу. Обыкновенно сжатіе начинается, когда поршень не дошелъ до мертвой точки на 0,08—0,15 своего хода.

4) *впускъ свѣжаго пара прекращается гораздо раньше прихода поршня къ его мертвой точкѣ*, вслѣдствіе чего паръ начинаетъ дѣйствовать *расширеніемъ*. Какъ увидимъ ниже (§ 284), *степень расширенія*, достигаемая описаннымъ только что золотникомъ, зависитъ *отъ величины наружной перекрыши и отъ величины угла опереженія* β. Придавъ эксцентрику предыдущаго золотника (§ 282) нѣкоторый уголъ опереженія, можно устранить его недостатки (отсутствіе опереженія впуска и выпуска, а также сжатія), и воспользоваться отчасти работою расширенія.

284. Діаграмма Цейнера. Для уясненія всѣхъ обстоятельствъ разсматриваемаго распредѣленія употребимъ графическій пріемъ, предложенный впервые Цейнеромъ.



Фиг. 253.

Пусть кривошипъ повернулся отъ мертваго положенія на уголъ α (фиг. 250); тогда эксцентрицитетъ перейдетъ изъ положенія Om въ положеніе Om′, причемъ золотникъ будетъ находиться правѣе своего средняго положенія на величину $s = On = r\sin(\alpha + \beta)$. Величины разстояній золотника отъ его средняго положенія, соотвѣтствующія различнымъ угламъ поворота кривошипа, можно найти слѣдующимъ построеніемъ. Проведемъ черезъ произвольную точку O (фиг. 253) вертикаль-

ную и горизонтальную прямыя; послѣднюю примемъ за направленіе линіи мертвыхъ точекъ A_0B_0. Затѣмъ проведемъ къ вертикальной линіи прямую OD подъ угломъ опереженія β, и отложимъ на ней величину OD=эксцентрицитету r эксцентрика; на этой линіи, какъ на діаметрѣ, опишемъ окружность. *Хорды этой окружности, идущія отъ точки О, изобразятъ собою по величинѣ разстоянія (s) золотника отъ его средняго положенія.* Дѣйствительно, положимъ, что кривошипъ OA_0 описалъ уголъ α при переходѣ изъ лѣвой мертвой точки въ положеніе OA· тогда изъ прямоугольнаго треугольника OaD имѣемъ: $Oa = OD\operatorname{Sin}(90-\alpha-\beta)$ или $Oa = r\operatorname{Sin}(\alpha+\beta) = s$. Но прежде чѣмъ открыть впускное отверстіе золотникъ долженъ пройти длину, равную величинѣ наружной перекрыши ab, поэтому, чтобы получить величину впускнаго отверстія, при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, надо изъ найденнаго выше разстоянія s вычесть величину наружной перекрыши; и, точно также, чтобы получить величину отверстія выпускнаго окна, надо изъ s вычесть величину внутренней перекрыши. Поэтому, означивъ величины наружной и внутренней перекрышъ буквами e и i, найдемъ величину открытія впускнаго окна: $x = s - e = r\operatorname{Sin}(\alpha+\beta) - e$, и выпускнаго: $y = s - i = r\operatorname{Sin}(\alpha+\beta) - i$. Такъ какъ внутренняя перекрыша i всегда меньше внѣшней e, то x всегда менѣе y, т. е. *выпускное отверстіе всегда открыто болѣе, чѣмъ впускное.*

Опишемъ изъ точки О, какъ центра, радіусами $Od = e$ и $Ok = i$ двѣ окружности; тогда получимъ изъ чертежа: $ad = Oa - Od = r\operatorname{Sin}(\alpha+\beta) - e = x$, т. е. ad будетъ величина открытія впускнаго окошка, соотвѣтствующая углу α, описанному кривошипомъ; изъ того же чертежа имѣемъ: $ak = Oa - Ok = r\operatorname{Sin}(\alpha+\beta) - i = y$, т. е. ak представляетъ величину открытія выпускнаго окна. Чтобы имѣть возможность на томъ же чертежѣ находить величины открытія паровыхъ оконъ и при обратномъ ходѣ поршня, нужно только продолжить линію OD въ другую сторону и, отложивъ $OD' = OD$, описать на OD', какъ на діаметрѣ, окружность.

Такимъ образомъ, эта діаграмма даетъ весьма удобное средство опредѣлять величины открытія впускнаго и выпускнаго окошекъ для каждаго положенія кривошипа. Она носитъ названіе *діаграммы Цейнера.* Изъ нея видно, что когда поршень находится въ своей мертвой точкѣ (при положеніи OA_0 кривошипа) впускное окно уже открыто на величину bc (величина эта наз. *линейнымъ опереженіемъ впуска*); выпускное же окно открыто на величину nc. Съ движеніемъ кривошипа по направленію стрѣлки обѣ эти величины возрастаютъ до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не займетъ положенія ON; при этомъ золотникъ будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ. Затѣмъ оба канала начинаютъ постепенно закрываться. При положеніи OA_1 кривошипа, величина впускнаго отверстія обращается въ нуль, а величина выпускнаго отверстія = pq,

слѣд., этому положенію кривошипа соотвѣтствуетъ *начало расширенія* въ лѣвой части цилиндра, между тѣмъ какъ выпускъ изъ правой части все еще продолжается. Чтобы найти соотвѣтственное положеніе поршня, стоитъ только изъ точки A_1 опустить перпендикуляръ на линію мертвыхъ точекъ; тогда линія $M_1 B_0$ покажетъ (приблизительно) на сколько поршень не дошелъ до правой мертвой точки въ моментъ начала расширенія [1]).

Когда кривошипъ займетъ положеніе OA_2 величина выпускнаго отверстія обращается въ нуль: съ этого момента начинается *сжатіе* мятаго пара въ правой части цилиндра, а расширеніе въ лѣвой продолжается.

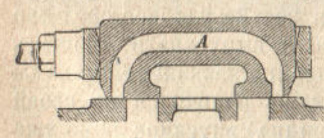
A_3 есть положеніе пуговки кривошипа въ то мгновеніе, когда начинается *выпускъ* мятаго пара изъ лѣвой части цилиндра, сжатіе же въ правой продолжается.

Наконецъ, при положеніи A_4 пуговки кривошипа начинается *впускъ* пара въ правую часть цилиндра или притокъ *контръ-паровъ*, выпускъ же изъ лѣвой части продолжается.

Такимъ образомъ, если извѣстны: 1) эксцентрицитетъ эксцентрика, 2) уголъ опереженія и 3) обѣ перекрыши, то по діаграммѣ Цейнера можно опредѣлить всѣ обстоятельства парораспредѣленія.

Степень расширенія, допускаемая золотникомъ съ перекрышами, вообще не велика: она не бываетъ болѣе $^4/_3$. Изъ діаграммы не трудно видѣть, что степень расширенія тѣмъ больше, чѣмъ *меньше эксцентрицитетъ* $r = OD$, *чѣмъ болѣе уголъ опереженія* β *и чѣмъ болѣе внѣшняя перекрыша* e, но съ измѣненіемъ этихъ величинъ измѣняются необходимо и другіе элементы распредѣленія пара (впускъ, сжатіе).

285. Различныя формы коробчатыхъ золотниковъ и соединеній ихъ со штокомъ. Коробчатый золотникъ встрѣчается въ нѣсколькихъ видоизмѣненіяхъ, сообразно тѣмъ особеннымъ условіямъ при которыхъ онъ работаетъ, какъ напр. въ скороходящихъ паровыхъ машинахъ, въ которыхъ главное условіе составляетъ быстрое распредѣленіе пара, или въ машинахъ съ очень длиннымъ цилиндромъ, требующихъ особыхъ заботъ объ уменьшеніи длины паровпускныхъ каналовъ и т. п.



Фиг. 254.

На фиг. 254 представленъ золотникъ *Трика*, снабженный внутреннимъ каналомъ A, имѣющимъ цѣлью удвоить величину впускныхъ отверстій при началѣ хода поршня: паръ поступаетъ въ цилиндръ не только у краевъ золотника, но также и по каналу A. Подобные золотники употребляются преимущественно въ

[1]) Чтобы получить совершенно вѣрное положеніе поршня, должно перенести точку A_1 на линію мертвыхъ точекъ не перпендикуляромъ къ этой послѣдней, а дугою круга, имѣющею радіусъ, равный длинѣ шатуна, и центръ на линіи мертвыхъ точекъ.

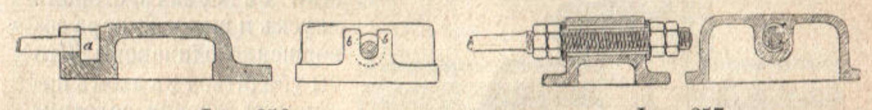
локомотивахъ. Фиг. 255 представляетъ устройство золотника для длинныхъ цилиндровъ. Во избѣжаніе слишкомъ длинныхъ паровпускныхъ каналовъ (слѣд., для уменьшенія вреднаго пространства), золотникъ раздѣленъ на двѣ отдѣльныя части A и B, прочное соединенныя между собою. Лѣвый наружный край золотника A и правый наружный край золотника B управляютъ впускомъ пара въ цилиндръ, напротивъ, лѣвый внутренній край золотники A и правый внутренній B управляютъ выпускомъ пара. Оба паровыпускные канала a соединяются въ одинъ общій каналъ *C*. Эти золотники имѣютъ особенно важное значеніе въ машинахъ съ холодильниками.



Фиг. 255.

Что касается способовъ соединеній золотника съ его штокомъ, то они весьма разнообразны. Для небольшихъ золотниковъ весьма удобно соединеніе, представленное на фиг. 256. Конецъ штока снабженъ круглою головкою a, которая вкладывается между переднею стѣнкою золотника и вилообразнымъ выступомъ bb.

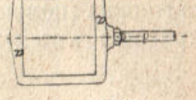
Довольно часто встрѣчающаяся конструкція представлена на фиг.



Фиг. 256. Фиг. 257.

257. Конецъ штока вставляется въ овальную трубку прилитую къ спинкѣ золотника и укрѣпляется гайками. Овальная форма сѣченія трубки позволяетъ измѣнять приладку по мѣрѣ истиранія золотника.

Наконецъ, весьма часто употребляется соединеніе золотника со штокомъ его при помощи желѣзной рамки *a* (фиг. 258—планъ), плотно охватывающей золотникъ. Конецъ штока соединяется съ рамкою или при помощи клина (фиг. 261 и 263) или же прямо ввинчивается въ нее (фиг. 258).

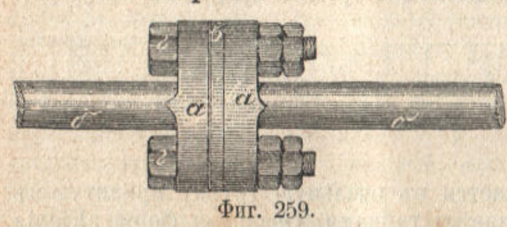

Фиг. 258.

286. Недостатки коробчатыхъ золотниковъ. Уравновѣшенные золотники. Существенное достоинство коробчатаго золотника, доставившее ему обширное распространеніе, заключается въ простотѣ его устройства и въ чрезвычайной правильности дѣйствія, въ особенности если *золотникъ установленъ правильно и тщательно вывѣренъ*. Но онъ имѣетъ и важные недостатки: 1) *медленное закрытіе оконъ*, слѣдствіемъ чего является *торможеніе* пара и потеря работы (§ 264); 2) впускъ и выпускъ пара происходятъ черезъ одинъ и тотъ же каналъ, который охлаждается каждый разъ

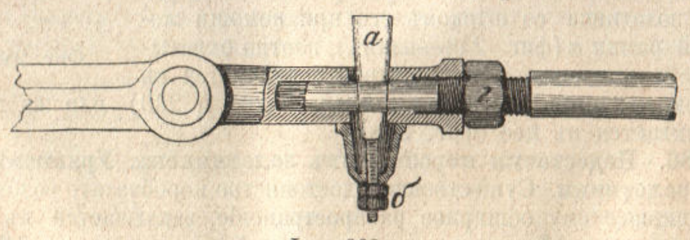
при выпускѣ мятаго пара; 3) значительная потеря работы, поглощаемой *тренiемъ* золотника о поверхность стола.

Съ цѣлью уменьшить тренiе золотника, что имѣетъ особенно важное значенiе въ машинахъ съ ручнымъ распредѣленiемъ пара (напр. въ паровыхъ молотахъ), а также въ машинахъ громадной силы (мореходныхъ), нерѣдко устраиваютъ такъ наз. *уравновѣшенные золотники*, въ которыхъ спинка золотника плотно скользитъ (при помощи металлической набивки, имѣющей, напр., видъ кольца, вставленнаго въ кольцевой желобокъ, сдѣланный на спинкѣ золотника, и нажимаемаго къ крышкѣ помощью стальныхъ пружинъ, подложенныхъ подъ набивку) по внутренней поверхности крышки золотниковой коробки, такъ что паръ не производитъ почти никакого давленiя на спинку золотника. Болѣе распространены *поршневые* уравновѣшенные золотники, состоящiе изъ двухъ соединенныхъ между собою поршеньковъ, снабженныхъ набивкою и движущихся въ тщательно расточенной цилиндрической коробкѣ (на подобiе распредѣлительнаго механизма водостолбовыхъ машинъ, фиг. 188). Однако уравновѣшенные золотники не получили всеобщаго примѣненiя по причинѣ сложности ихъ устройства.

287. Повѣрка золотника. Золотникъ работаетъ правильно, если съ обѣихъ сторонъ впускъ и выпускъ пара совершенно одинаковы. Чтобы убѣдиться въ этомъ повѣряютъ сборку золотника слѣдующимъ образомъ. Снимаютъ крышку золотниковой коробки и ставятъ кривошипъ въ *лѣвую* мертвую точку. Затѣмъ измѣняютъ величину открытiя впускнаго окна (помощью деревяннаго клинушка, вдвигаемаго въ отверстiе между краями золотника и окна, при чемъ на клинушкѣ



Фиг. 259.



Фиг. 260.

получается мѣтка). Послѣ того ставятъ кривошипъ въ *правую* мертвую точку и опять измѣряютъ величину открытiя другаго впускнаго окна. Если окажется, что открытiя оконъ не одинаковы, то удлиняютъ или окорачиваютъ золотниковую тягу до тѣхъ поръ, пока не полу-

чатся одинаковыя открытія оконъ. Съ этою цѣлью тяга дѣлается обыкновенно составною изъ двухъ частей, соединяемыхъ поср. флянцевъ а, а, (фиг. 259), между которыми кладется болѣе или менѣе толстая прокладка Ъ, или при помощи клина а, затягиваемаго гайкою б (фиг. 260). Измѣненіе длины золотниковой тяги бб въ первомъ случаѣ достигается утолщеніемъ или утоненіемъ прокладки в, а во второмъ—подтягиваніемъ клина а (отпустивъ предварительно гайку г).

Примѣчаніе. Чтобы поставить кривошипъ въ *мертвую точку* надо прежде всего *вывѣрить длину шатуна*. Для этого снимаютъ шатунъ прочь и передвигаютъ крейцкопфъ со штокомъ и поршнемъ сначала въ лѣвое, а затѣмъ въ правое крайнее положеніе (такъ чтобы всякій разъ поршень упирался въ крышку цилиндра), и отмѣчаютъ на параллели чертами, напр. а и b, крайнія положенія крейцкопфа. Раздѣливъ длину аb пополамъ и отложивъ отъ середины с въ обѣ стороны длину кривошипа, получаютъ на параллели двѣ новыя черты d и е, между которыми долженъ двигаться крейцкопфъ при вращеніи кривошипа. Если онъ съ одной стороны не дойдетъ до черты d, а съ другой перейдетъ черту е, то это значитъ, что шатунъ слишкомъ длиненъ и его надо укоротить, переставляя вкладыши его головокъ. Если такимъ образомъ длина шатуна провѣрена, то установка кривошипа въ той или другой мертвой точкѣ достигается простою установкою крейцкопфа противъ одной изъ мѣтокъ d или е.

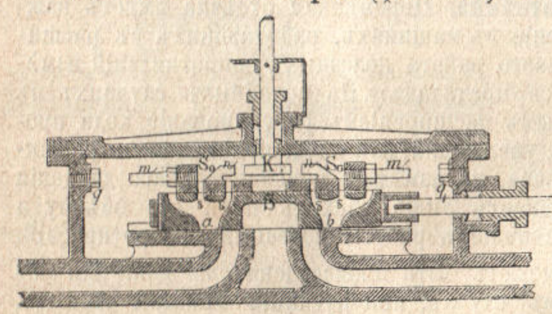
288. Перемѣнная отсѣчка. Перемѣнная отсѣчка имѣетъ важное практическою значеніе въ машинахъ, работающихъ съ расширеніемъ пара. Весьма часто работа полезныхъ сопротивленій измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ. Въ подобныхъ случаяхъ въ машинахъ съ перемѣннымъ расширеніемъ регулированіе хода производится посредствомъ увеличенія или уменьшенія степени расширенія. Перемѣнная отсѣчка, не измѣняя первоначальнаго давленія пара въ цилиндрѣ, измѣняетъ лишь расходъ пара (по объему и вѣсу), сообразно съ измѣненіемъ работы полезныхъ сопротивленій.

Перемѣна отсѣчки можетъ быть произведена *отъ руки* или *отъ регулятора*. Въ первомъ случаѣ, при пусканіи машины въ ходъ, устанавливаютъ такое расширеніе, при которомъ получается нормальная скорость машины. Движеніе будетъ происходитъ съ этою скоростью, если сопротивленіе, преодолѣваемое машиною, не измѣняется. При измѣненіи же его должна быть измѣнена соотвѣтственно и отсѣчка. Въ тѣхъ случаяхъ когда работа сопротивленія измѣняется значительно и на продолжительное время (напр., вслѣдствіе отцѣпки станковъ), надлежащую степень отсѣчки устанавливаютъ на это время отъ руки. Но такъ какъ кромѣ этихъ значительныхъ измѣненій происходятъ безпрестанныя и незначительныя измѣненія сопротивленія, то для избѣжанія постояннаго наблюденія за машиною, сопряженнаго съ безпрерывною перемѣною отсѣчки машинистомъ, устраиваютъ отъ регулятора приводъ къ расширительному механизму, заставляя регуляторъ управлять отсѣчкою. При увеличеніи скорости машины регуляторъ увеличиваетъ расширеніе,

при уменьшеніи—уменьшаетъ. Этотъ способъ регулированія силы машины почти совершенно вытѣснилъ практиковавшійся прежде способъ регулированія поср. *поворотнаго клапана*, не выгодный уже по тому одному, что для возможности предупрежденія какъ *возрастанія*, такъ и *уменьшенія* нормальной скорости, необходимо ставить клапанъ такъ, чтобы при нормальной скорости онъ былъ не вполнѣ открытъ; слѣд., при нормальной скорости переходъ пара въ цилиндръ будетъ происходить невыгоднымъ образомъ, такъ какъ съуженіе канала влечетъ за собою всегда пониженіе давленія пара.

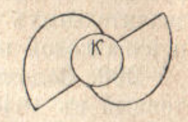
Для достиженія перемѣнной отсѣчки устраиваютъ особые такъ наз. *сложные* или *двойные* золотники, состоящіе изъ двухъ отдѣльныхъ золотниковъ, изъ которыхъ одинъ назначенъ для *распредѣленія* пара по ту или другую сторону поршня, а другой производитъ собственно *расширеніе*; этотъ послѣдній золотникъ устроенъ такъ, что его можно переставлять и получать такимъ образомъ различныя отсѣчки. Системъ подобныхъ золотниковъ очень много, но наиболѣе употребительные изъ нихъ суть двойные золотники *Фарко́*, *Мейера* и *Ридера*.

289. Золотникъ Фарко (фиг. 261). Золотникъ этотъ, изобрѣтенный во Франціи въ 1838 г., состоитъ изъ коробчатаго золотника S, который отличается отъ обыкновен. только тѣмъ, что при немъ паръ вступаетъ въ паровой каналъ, двигаясь не около наружныхъ краевъ его лапъ, а по каналамъ a, b, сдѣланнымъ въ золотникѣ. Каналы a и b въ спинкѣ золотника развѣтвляются натрое, съ цѣлью увеличенія паровпускныхъ отверстій въ моментъ начала впуска паровъ. На гладко обструганной спинкѣ золотника S поставлены двѣ пластинки S_0, снабженныя двумя отверстіями δ,δ. Давленіемъ пара пластинки эти плотно прижаты къ спинкѣ нижняго золотника. Каждая пластинка снабжена двумя пальцами m и n, а въ распредѣлительной коробкѣ— въ боковыхъ стѣнкахъ ея—сдѣланы два выступа q,q. Наконецъ, между пальцами nn, по средней линіи распредѣлительной коробки, черезъ ея крышку пропущена ось, на нижнемъ концѣ которой укрѣплена пластинка K, имѣющая форму кулачка, выступы котораго симметрично расположены относительно оси (фиг. 262). Кулачекъ этотъ, а также и выступы qq, служатъ для задержанія плас-



Фиг. 261.

тинокъ S_0S_0, увлекаемыхъ нижнимъ золотникомъ, который получаетъ независимо отъ пластинокъ движенiе отъ эксцентрика, насаженнаго на главный валъ машины. Дѣйствiе нижняго золотника ничѣмъ не отличается отъ распредѣленiя, производимаго обыкновеннымъ золотникомъ, поэтому онъ наз. *распредѣлительнымъ*. Отсѣчка же производится, какъ сейчасъ увидимъ, верхними пластинками, которыя потому наз. *расширительными*.



Фиг. 262.

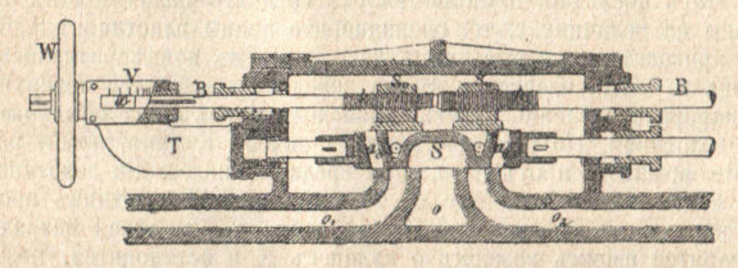
Предположимъ, что оба золотника находятся въ среднемъ своемъ положенiи, представленномъ на чертежѣ. Допустимъ сначала, что разстоянiе выступовъ m пластинокъ S_0 до задержекъ q, q_1, а также разстоянiе рожковъ n, n до кулачка K равны эксцентрицитету r эксцентрика, приводящаго въ движенiе нижнiй золотникъ. Такъ какъ этотъ послѣднiй отклоняется отъ средняго положенiя въ обѣ стороны на величину r, то, очевидно, что концы пластинокъ S_0 будутъ прикасаться къ выступамъ какъ разъ въ концѣ размаха золотника и, слѣд., пластинки S_0 не передвинутся по его поверхности: парораспредѣленiе будетъ происходить какъ при обыкновенномъ золотникѣ. Но если поставимъ кулачекъ K такъ, чтобы разстоянiе рожковъ n отъ него, при среднемъ положенiи золотника, было меньше r на величину x, то когда нижнiй золотникъ пройдетъ вправо отъ средняго положенiя длину $r - x$, лѣвая накладка S_0 ударится своимъ рожкомъ о кулачекъ K и остановится, между тѣмъ какъ золотникъ будетъ продолжать двигаться; при этомъ отверстiя δ канала a закроются, впускъ пара прекратится и *начнется расширенiе.* Этотъ моментъ отсѣчки наступитъ тѣмъ раньше, чѣмъ длиннѣе выступъ кулачка K. Лѣвая пластинка S_0 передвинется по поверхности золотника на величину x, слѣд., когда при обратномъ ходѣ золотникъ придетъ въ свое среднее положенiе, то конецъ лѣвой пластинки будетъ находиться отъ выступа q на разстоянiи $r - x$, а не на разстоянiи r, какъ прежде; при дальнѣйшемъ движенiи золотника влѣво, когда онъ пройдетъ путь $r - x$, пластинка S_0 упрется въ выступъ q и остановится при чемъ отверстiя δ снова откроятся, между тѣмъ какъ нижнiй золотникъ продолжаетъ свое движенiе влѣво и пройдетъ еще путь x. Такимъ образомъ, подъ конецъ обратнаго хода золотника пластинка S_0 займетъ свое прежнее положенiе: отверстiя δ будутъ открыты; при слѣдующемъ размахѣ повторятся тѣ же явленiя.

Измѣненiе отсѣчки достигается поворачиванiемъ въ ту или другую сторону кулачка K, которое производится отъ руки при помощи рукоятки, надѣтой на ось кулачка или отъ регулятора, который для этого соединяется системою рычаговъ съ рукояткою, надѣтою на ось кулачка K.

Золотникъ Фарко́ распространенъ особенно во Франціи и Бель-

гіи. Примѣненіе его оказывается удобнымъ для машинъ съ числомъ оборотовъ не >100 въ мин., такъ какъ при большемъ числѣ оборотовъ, механизмъ скоро разстраивается, вслѣдствіе частыхъ и значительныхъ ударовъ выступовъ пластинокъ объ выступы коробки и кулачковой пластинки.

290. Золотникъ Мейера (фиг. 263). Золотникъ этотъ, изобрѣтенный въ 1842 г., состоитъ изъ *распредѣлительнаго* золотника S съ двумя каналами a_0, a_0. По гладко обстроганной спинкѣ золотника скользятъ двѣ пластинки S_0, снабженныя гайками, черезъ которыя проходитъ стержень BB, имѣющій двоякую нарѣзку — правую и лѣвую; при вращеніи стержня въ ту или другую сторону, пластинки S_0 сближаются или удаляются одна отъ другой. Стержень BB пропущенъ черезъ сальники съ обѣихъ сторонъ распредѣлительной коробки; одинъ конецъ его соединяется съ тягою эксцен-



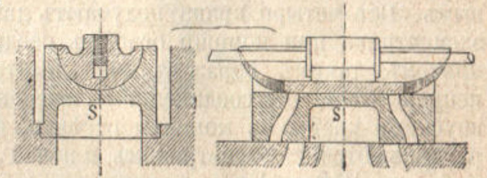
Фиг. 263.

трика, отъ котораго онъ получаетъ движеніе, а другой съ механизмомъ, служащимъ для сообщенія стержню вращательнаго движенія, съ цѣлью измѣнить взаимное разстояніе пластинокъ.

Нижній золотникъ ведется другимъ эксцентрикомъ съ небольшимъ угломъ опереженія β (около 15°) и двигается совершенно независимо отъ пластинокъ S_0. Эксцентрицитеты обоихъ эксцентриковъ дѣлаются равными между собою (около 0,04 м.), но уголъ опереженія β' эксцентрика верхняго золотника дѣлается обыкновенно равнымъ 60°. Не трудно видѣть, что при такомъ устройствѣ распредѣлительнаго механизма, вскорѣ послѣ выхода поршня изъ мертвой точки, верхній золотникъ, двигаясь въ сторону, противоположную движенію нижняго золотника и поршня, закроетъ впускной каналъ a_0, т. е. произведетъ отсѣчку ранѣе нижняго золотника. Легко видѣть также изъ чертежа, что чѣмъ болѣе пластинки сближены между собою, тѣмъ позже начнется закрываніе канала a_0, слѣд., тѣмъ меньше расширеніе; обратно, расширеніе увеличится при увеличеніи разстоянія между пластинками. На этомъ основаніи верхній золотникъ наз. *расширительнымъ*. Установивъ соотвѣтствующее разстояніе между пластинками, достигаютъ данной сте-

пени расширенія, которая можетъ быть измѣнена на ходу машины посредствомъ вращенія винта BB въ ту или другую сторону. Поворачиваніе винта можетъ быть произведено отъ руки или отъ регулятора. Въ послѣднемъ случаѣ регуляторъ соединяется системою рычаговъ со стержнемъ BB, такъ что при измѣненіи скорости регуляторъ измѣняетъ степень расширенія, именно увеличиваетъ ее при увеличеніи скорости и уменьшаетъ при уменьшеніи, и такимъ образомъ опять приводитъ скорость къ нормальной величинѣ. Впрочемъ, золотникъ Мейера съ *автоматическимъ* регулированіемъ имѣетъ довольно рѣдкое примѣненіе, *во-первыхъ*, по причинѣ сложности устройства и медленности дѣйствія, ибо для измѣненія отсѣчки въ крайнихъ предѣлахъ необходимы нѣсколько оборотовъ винта, и *во-вторыхъ* потому, что при непрерывномъ дѣйствіи винта, вслѣдствіе высокой температуры, затрудняющей смазываніе, происходитъ скорое изнашиваніе гаекъ. Обыкновенно пластинки устанавливаютъ отъ руки, а регуляторъ заставляютъ дѣйствовать на поворотный клапанъ.

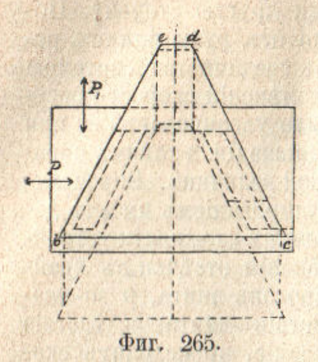
На фиг. 263 изображенъ ручной механизмъ, служащій для перестановки пластинокъ. На концѣ стержня B заклиненъ маховичекъ W, служащій для вращенія винта. Вмѣстѣ со стержнемъ B вращается заклиненная на немъ муфточка, снабженная наружною нарѣзкою и лишенная возможности двигаться поступательно. На муфточку надѣта гайка, снабженная указателемъ a. При вращеніи маховика W гайка эта получитъ поступательное движеніе, причемъ указатель ея, остановившись противъ того или другаго дѣленія, сдѣланнаго на втулкѣ V контрфорса T, дастъ понятіе какъ о взаимномъ разстояніи расширительныхъ пластинокъ, такъ и о степени расширенія.



Фиг. 264.

291. Золотникъ Ридера (фиг. 264). Основная идея этого золотника, изобрѣтеннаго въ 1873 г. американцемъ *Ридеромъ*, та же что и золотника Мейера. Въ нижнемъ золотникѣ S устроены впускные каналы *a* и *b*, которые въ нижней плоскости золотника параллельны между собою, а въ верхней сходятся подъ угломъ. Верхняя поверхность нижняго золотника обточена по цилиндру и по ней скользитъ верхній *(расширительный)* золотникъ, который можетъ въ тоже время поворачиваться около горизонтальной оси. Если развернуть цилиндрическія поверхности обоихъ золотниковъ въ плоскость, то получимъ фиг. 265. Здѣсь *bcde* есть верхній золотникъ трапецоидальной формы; его края параллельны краямъ паровыхъ окошекъ. Оба золотника получаютъ движеніе въ направленіи стрѣлки P отъ эксцентриковъ, которые заклиниваются на главномъ валу совершенно также, какъ и въ зол. *Мейера*, слѣд., верх-

ній золотникъ Ридера дѣйствуетъ какъ пластинки Мейера. Перемѣна отсѣчки достигается поворачиваніемъ трапецоидальнаго золотника (отъ руки или отъ регулятора) около его оси, причемъ края его приближаются или удаляются отъ краевъ паровыхъ окошекъ нижняго золотника, слѣд., достигается тотъ же результатъ, какъ при поворачиваніи винта пластинокъ Мейера.

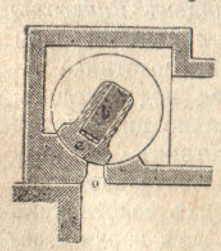


Фиг. 265.

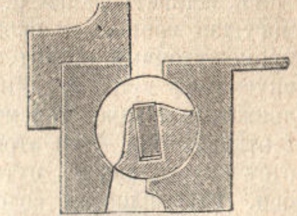
292. Распредѣлительный механизмъ Корлисса. Механизмъ этотъ, принадлежащій къ числу совершеннѣйшихъ системъ распредѣленія пара, былъ изобрѣтенъ въ 1849 г. американцемъ *Корлиссомъ*, который первый ввелъ также наиболѣе совершенную форму станину, такъ наз. *штыковую* (§ 307 и фиг. 287) станину. Со времени всемірной парижской выставки 1867 г. машины Корлисса получили и въ Европѣ обширное распространеніе.

Распредѣленіе пара по системѣ Корлисса совершается четырьмя *кранами*, изъ коихъ два (*впускные*) D и D_1 (фиг. 287) помѣщены въ углахъ верхней паровой коробки R, прилитой къ горизонтальному паровому цилиндру A (послѣдній всегда снабжается паровою рубашкою) и получающей паръ изъ котла по трубѣ T, а два другіе, *выпускные*, внизу цилиндра, діаметрально противоположно первымъ. Всѣ четыре крана получаютъ движеніе отъ одного и того же эксцентрика при помощи особыхъ соединительныхъ механизмовъ и притомъ такимъ образомъ, что выпускные краны находятся въ непрерывающемся соединеніи съ эксцентрикомъ, между тѣмъ какъ впускные краны въ моменты отсѣчки, опредѣляемые регуляторомъ, расцѣпляются съ эксцетрикомъ и почти *мгновенно* закрываютъ впускныя окна дѣйствіемъ пружинъ.

Фиг. 266 представляетъ въ поперечномъ разрѣзѣ впускной кранъ (чугунный). Онъ имѣетъ видъ цилиндрическаго сегмента a, снабженною прорѣзомъ, въ который входитъ прямоугольный стержень b, могущій вращаться около горизонтальной оси перпендикулярной къ оси цилиндра. Передній конецъ стержня имѣетъ цилиндрическую форму и пропущенъ черезъ сальникъ. Между стержнемъ и краномъ помѣщены двѣ пружины, обезпечивающія плотное прижатіе крана къ его сѣдлу, несмотря на изнашиваніе. Такое устройство обусловливаетъ сравнительно незначительное давленіе пара, а, слѣд. и *слабое треніе*; поэтому кранъ требуетъ для своего движенія очень небольшой силы. Кромѣ того *вредное пространство* доведено до

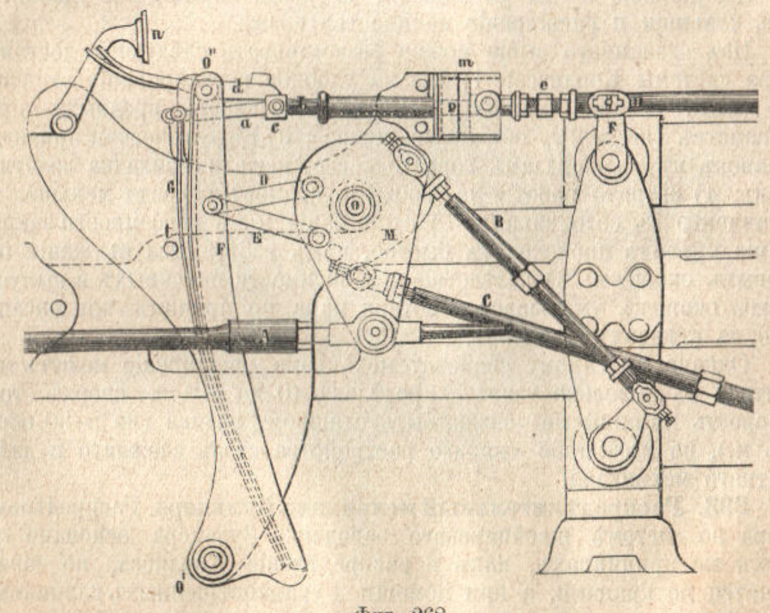

Фиг. 266.

незначительной величины. *Выпускные краны* (фиг. 267) имѣютъ одинаковый діаметръ съ впускными, но дѣлаются почти вдвое шире послѣднихъ.



Фиг. 267.

Обратимся теперь къ разсмотрѣнію самого распредѣлительн. механизма. Центръ прибора составляетъ дискъ M (фиг. 268), который можетъ вращаться около оси O, параллельной главному валу машины. Дискъ этотъ приводится въ движеніе тягою A эксцентрика, заклиненнаго на главномъ валу подъ угломъ (къ кривошипу), большимъ 90° на величину обыкновеннаго угла опереженія. Къ диску M подвѣшены 4 тяги B, C, D и E, изъ коихъ B и C, направленныя къ нижней части цилиндра, вращаютъ выпускные краны, а



Фиг. 268.

двѣ другія (D и E) идутъ не прямо къ впускнымъ кранамъ, а къ двумъ длиннымъ рычагамъ F и G, могущимъ вращаться около общей неподвижной оси O'. Вдоль каждаго изъ рычаговъ идетъ пружина t, сочленяющаяся наверху, посредствомъ тяги a, со стержнемъ b, который приводитъ въ движеніе впускной кранъ. На этомъ стержнѣ имѣется поршень p, движущійся внутри цилиндра m, представляющаго собою воздушный буферъ. Въ точкѣ сочлененія тяги

а со стержнемъ b находится стальная пластинка с, за которую можетъ задѣвать лапка d, укрѣпленная на самомъ концѣ рычага F и могущая вращаться около оси O″. Эта лапка представляетъ собою промежуточный органъ, соединяющій, эксцентрикъ главнаго вала съ впускнымъ краномъ. Упираясь въ стержень b лапка d, при своемъ движеніи вправо, перемѣщаетъ его вправо, сгибая пружину t: кранъ f открывается. При этомъ движеніи лапка встрѣчаетъ (въ моментъ отсѣчки) на своемъ пути бородокъ n и, повернувшись около своей оси, расцѣпляется со стержнемъ b; тогда дѣйствіемъ пружины t кранъ f быстро закроется, причемъ воздушный буферъ m поглотитъ ударъ, производимый пружиною. Съ этого момента начинается расширеніе пара. Бородокъ n находится, при посредствѣ рычага, въ связи съ муфтою регулятора, такъ что при увеличеніи скорости машины, бородокъ приближается къ клавишѣ, и расширеніе начинается раньше, а при уменьшеніи скорости бородокъ n удаляется отъ клавиши и расширеніе начинается позже.

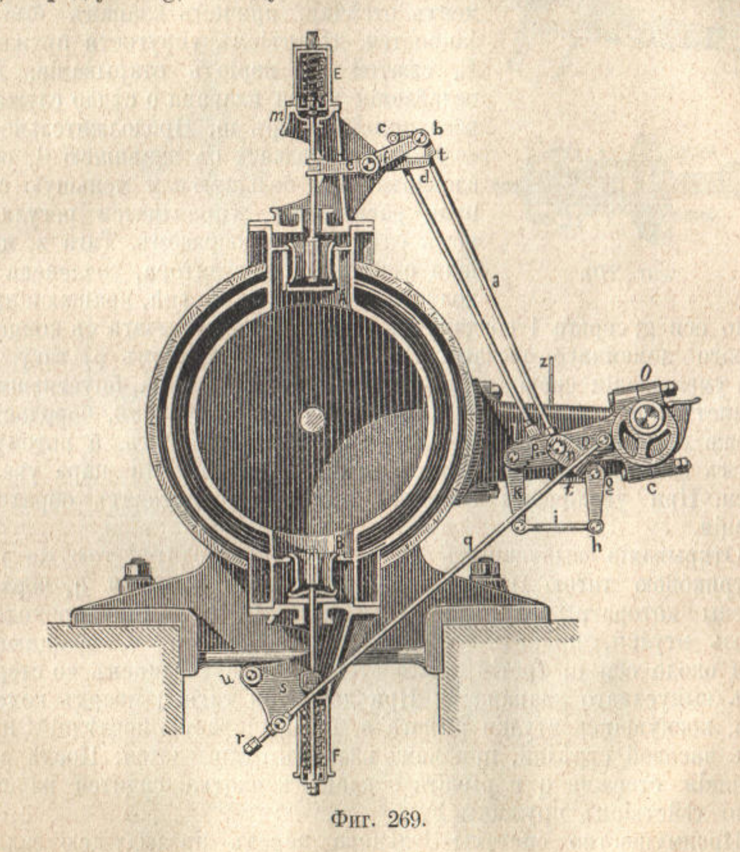
Изъ сказаннаго выше можно резюмировать слѣдующія достоинства системы Корлисса: 1) весьма удобное регулированіе отсѣчки, а, слѣд., и хода машины; 2) незначительность вредныхъ пространствъ (не $>2\%$ объема цилиндра); 3) герметическая приладка крановъ къ ихъ сѣдламъ гораздо легче, нежели приладка золотниковъ; 4) затрата работы на движеніе крановъ гораздо меньше, по сравненію съ золотниками; 5) открываніе и въ особенности закрываніе крановъ происходятъ быстро, чѣмъ избѣгаются съуженія паровыхъ окошекъ; 6) вслѣдствіе независимости впускныхъ и выпускныхъ окошекъ уменьшается потеря пара по причинѣ конденсаціи его на стѣнкахъ каналовъ.

Однако по самому свойству механизма расширеніе можетъ мѣняться въ довольно узкихъ предѣлахъ (0 до 40%), сверхъ того скорость машины не должна быть слишкомъ велика (не >60 обор. въ м.), во избѣжаніе скораго растройства столь сложнаго и деликатнаго механизма.

293. Распредѣлительный механизмъ Зульцера. Распредѣленіе пара по системѣ швейцарскаго заводчика Зульцера основано на тѣхъ же принципахъ, какъ и распредѣленіе Корлисса, но совершается не кранами, а при помощи 4 уравновѣшенныхъ клапановъ, изъ коихъ два, *впускные*, помѣщены вверху цилиндра (всегда горизонтальнаго, снабженнаго рубашкою), по концамъ верхней производящей, а другіе два, *выпускные*, внизу, подъ первыми.

На фиг. 269 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ паровой цилиндръ съ распредѣлительнымъ механизмомъ новѣйшей конструкціи (1878 г.). A есть паровпускной клапанъ, B—выпускной. Сбоку пароваго цилиндра, параллельно его оси, идетъ валъ O, дѣлающій одинаковое число оборотовъ съ главнымъ валомъ машины, отъ котораго онъ получаетъ движеніе при помощи пары коническихъ ко-

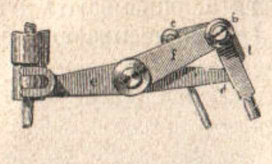
лесъ. На валу O заклинены два эксцентрика C, изъ которыхъ каждый управляетъ двумя клапанами—впускнымъ и выпускнымъ. Съ тягою эксцентрика въ точкѣ n сочленены: стержень a, идущій вверхъ и двѣ подвѣски ng, насаженные вольно на ось g и имѣющія назначеніе поддерживать тягу D эксцентрика. При вращеніи вала O точка n, а также нижній конецъ тяги a, описываютъ дугу круга радіуса ng, между тѣмъ какъ конецъ l тяги описываетъ свое-

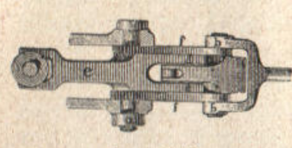


Фиг. 269.

образную овальную кривую. Вилообразный верхній конецъ тяги a передаетъ колебальное движеніе вверхъ—внизъ подвижной оси b, на которой укрѣплена двойная серьга f и колѣнчатый рычажокъ cbt. Конецъ c этого рычажка сочлененъ съ тягою cp, получающею движеніе отъ регулятора, а конецъ t (*бородокъ*), ограниченный снизу цилиндрическою поверхностью радіуса bt (фиг. 270), упирается въ клавишу d, имѣющую форму также цилиндрической поверхности, концентрической съ бородкомъ t, и образующую конецъ двуплечаго рычага dfe.

Рычагъ этотъ другимъ концомъ соединенъ со стержнемъ впускнаго клапана A; ось f этого рычага неподвижна. При движенiи тяги a внизъ бородокъ t, соприкоснувшись въ извѣстный моментъ съ клавишею d, нажимаетъ на рычагъ de, причемъ клапанъ A открывается; но въ тоже время, вслѣдствiе боковаго движенiя (влѣво) стержня cp, бородокъ скользитъ по клавишѣ, пока не расцѣпится съ нею въ моментъ отсѣчки, причемъ клапанъ быстро закроется, дѣйствiемъ упругости пружины E, сжатой въ перiодъ открыванiя. Для ослабленiя удара клапана о сѣдло служитъ воздушный буферъ m. Продолжительность сцѣпленiя бородка t съ клавишею d, обусловливающая большую или меньшую степень расширенiя, управляется регуляторомъ слѣдующимъ образомъ. Тяга z, идущая отъ муфты регулятора, сочленена съ колѣнчатымъ рычагомъ tgh, вращающимся около оси g; серьга i соединяетъ конецъ h этого рычага съ концомъ втораго ломаннаго рычага klp, ведущаго (концомъ p) тягу pc. При уменьшенiи скорости машины муфта регулятора, опустившись, вдвинетъ при помощи описанной системы рычажковъ, бородокъ t глубже въ клавишу, вслѣдствiе чего сцѣпленiе ихъ, а потому и впускъ свѣжаго пара, происходитъ дольше: работа пара увеличится. При увеличенiи скорости машины происходятъ обратныя явленiя.





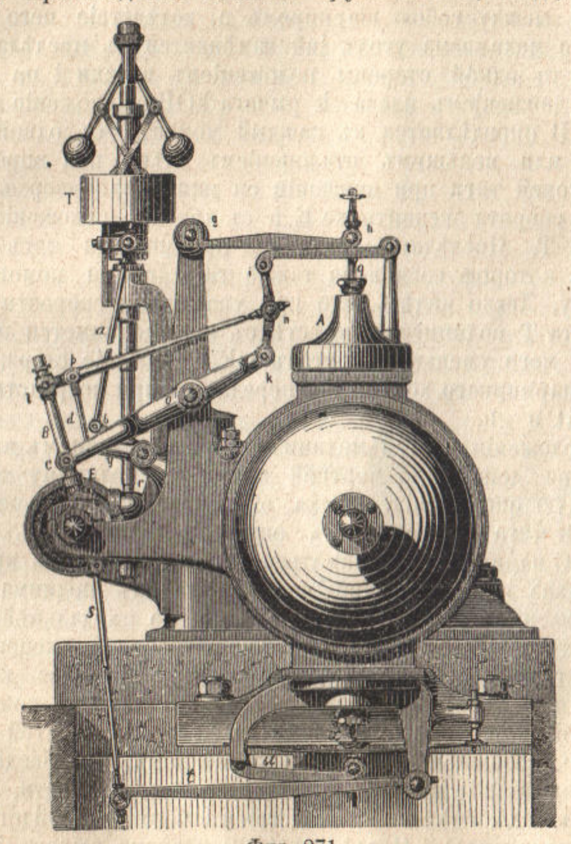
Фиг. 270.

Открыванiе выпускныхъ клапановъ производится тою же эксцентриковою тягою D, при помощи двойнаго стержня q, верхнiе концы котораго прикрѣплены къ тягѣ D, а нижнiе проходятъ сквозь втулки, прилитыя къ треугольному рычагу s, вращающемуся около оси u; третiй уголъ этого рычага соединенъ со стержнемъ выпускнаго клапана B. При движенiи тяги q вверхъ конецъ r ея, коснувшись втулки рычага s, поворачиваетъ послѣднiй противъ часовой стрѣлки, при чемъ клапанъ открывается. Послѣ расцѣпленiя стержня q и рычага s клапанъ плотно садится на свое сѣдло дѣйствiемъ пружины F.

Преимущество системы Зульцера передъ предыдущею заключается въ томъ, что она допускаетъ бóльшiе предѣлы расширенiя (отъ 0 до 0,7). При хорошемъ выполненiи расходъ пара въ нихъ, какъ и въ машинахъ Корлисса, доходитъ до $7^1/_2$ klg. на 1 индик. силу въ часъ.

294. Распредѣлительный механизмъ Кольмана, (фиг. 271). Подобно механизму Зульцера, распредѣленiе пара по системѣ Кольмана производится 4 клапанами, двумя впускными и двумя выпускными. Вторые имѣютъ во все время хода машины одно и то

же движенiи, но движенiе первыхъ измѣняется, смотря по потребности въ полезной работѣ машины, непосредственнымъ дѣйствiемъ регулятора. Отличiе системы Кольмана отъ системы Зульцера состоитъ въ томъ, что какъ открыванiе такъ и закрыванiе клапановъ производится съ одинаковою точностью и быстротою самимъ механизмомъ, между тѣмъ какъ въ системѣ Зульцера закрыванiе клапановъ производится особыми пружинами и, слѣд., находится



Фиг. 271.

въ зависимости отъ перемѣннаго тренiя въ сальникѣ клапанной коробки и отъ перемѣннаго сопротивленiя воздуха въ буферѣ, назначенномъ для смягченiя ударовъ клапана о сѣдло.

На фиг. 271 представленъ механизмъ Кольмана новѣйшей конструкцiи въ положенiи, при которомъ начинается поднятiе впускнаго клапана (открытiе впускнаго канала). Оба распредѣлительные эксцентрика E заклинены на горизонтальномъ валу, параллельномъ оси цилиндра и дѣлающемъ одинаковое число оборотовъ въ ми-

нуту съ главнымъ валомъ машины. Тяга B эксцентрика сочленена съ двуплечимъ рычагомъ COK, вращающимся около неподвижной оси O и сообщающимъ плечомъ k движенie впускному клапану A, соотвѣтствующее впуску свѣжаго пара. На продолженiи цилиндрической тяги B эксцентрика надѣта втулка l, свободно скользящая по тягѣ и соединенная посредствомъ тяги ln съ колѣнчатымъ рычагомъ kni; послѣднiй состоитъ изъ двухъ подвѣсокъ in и nk, соединеннымъ между собою шарниромъ n, вслѣдствie чего при движенiи всего механизма уголъ ink измѣняется въ предѣлахъ, опредѣляемыхъ съ одной стороны положенieмъ втулки l на тягѣ B, а съ другой движенieмъ плеча k рычага kOB. Положенie же втулки l на тягѣ B опредѣляется въ каждый моментъ съ одной стороны большимъ или меньшимъ отклоненieмъ влѣво или вправо конца эксцентриковой тяги при движенiи ея внизъ или вверхъ въ теченie одного оборота эксцентрика E, а съ другой—положенieмъ муфты регулятора T. Послѣдняя соединена при помощи тягъ a и b съ осью r, съ которою соединена также тяга ln при помощи рычаговъ r и y. Легко видѣть, что при увеличенiи скорости машины, когда муфта T поднимется, вмѣстѣ съ нею поднимется и втулка l, вслѣдствie чего уменьшится уголъ ink. Движенie стержню q клапана отъ шарнирнаго колѣна ink передается при посредствѣ контръ-рычаговъ it и gh.

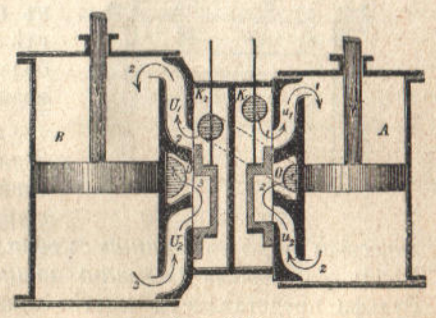
При положенiи частей механизма, представленномъ на чертежѣ, поршенъ не дошелъ до мертвой точки на величину хода, соотвѣтствующую опереженiю впуска; эксцентрицитетъ эксцентрика E, (а, слѣд., и тяга B) начинаетъ опускаться, при чемъ конецъ k рычага kOC начинаетъ подниматься, двигаясь по дугѣ круга. Пока уголъ колѣна ink достаточно великъ клапанъ поднимается дѣйствieмъ давленiя рычага it на рычагъ gh, но съ дальнѣйшимъ опусканieмъ тяги B (въ теченie всего полуоборота эксцентриковаго вала) непрерывное движенie рычага k, сгибающее колѣно ink, комбинируясь съ отклоненieмъ втулки l вмѣстѣ съ концемъ эксцентриковой тяги влѣво, а также съ движенieмъ этой втулки и стержня ln, сообщаемымъ имъ регуляторомъ, произведетъ расцѣпленie стержней it и gh, въ такой же постепенности, въ какой происходило ихъ сцѣпленie, слѣдствieмъ чего произойдетъ отсѣчка (клапанъ закроется). Послѣ закрытiя клапана рычагъ it продолжаетъ свободно опускаться. Во время взаимодѣйствiя рычаговъ it и gh первый катится по нижней поверхности втораго, вслѣдствie чего точка касанiя ихъ постепенно приближается къ оси g рычага gh, при поднятiи клапана и удаляется отъ нея при опусканiи, чѣмъ обусловливается быстрое и при томъ увеличенное (по отношенiю къ перемѣщенiю точки i) поднятie или опусканie клапана. Степень расширенiя, допускаемая этимъ механизмомъ, измѣняется въ предѣлахъ отъ 0 до 0,9.

Открываніе и закрываніе выпускнаго клапана x производится тѣмъ же эксцентрикомъ E при помощи тяги s и контръ-рычаговъ t и u.

295. Распредѣленіе пара въ машинахъ Вульфа [1]**.** Какъ извѣстно, работа пара расширеніемъ представляетъ значительную выгоду въ отношеніи экономіи топлива, которая тѣмъ больше, чѣмъ больше степень расширенія. Однако устройство значительнаго расширенія въ обыкновенныхъ машинахъ съ однимъ цилиндромъ (*однократнаго дѣйствія*), влечетъ за собою многія неудобства, изъ коихъ главнѣйшее состоитъ въ значительныхъ измѣненіяхъ давленія пара на поршень въ началѣ и концѣ хода его, обусловливающихъ большую неравномѣрность движенія машины.

Этотъ недостатокъ устраняется почти вполнѣ въ *машинахъ двукратнаго дѣйствія*, изобрѣтенныхъ Вульфомъ въ 1804 г., принципъ устройства которыхъ заключается въ томъ, что паръ заставляютъ дѣйствовать послѣдовательно въ двухъ цилиндрахъ различнаго діаметра: паръ изъ котла впускается въ малый цилиндръ, въ которомъ онъ работаетъ или полнымъ давленіемъ во время всего хода поршня или съ отсѣчкою; отработавшій паръ выпускается въ большой цилиндръ, гдѣ онъ продолжаетъ работу расширенія, а изъ большаго цилиндра выпускается уже въ холодильникъ.

На фиг. 272 изображена система Вульфа съ вертикальными цилиндрами, большимъ B и малымъ A, изъ коихъ послѣдній имѣетъ и меньшую длину (около $^3/_4$ длины большою), по той причинѣ, что штокъ его прикрѣпляется ко второй ведущей точкѣ (F, фиг. 95) параллелограмма Уатта, дѣлающей меньшій размахъ, нежели вершина его B, съ которою сочленяется штокъ большаго цилиндра. Въ малый цилиндръ A паръ впускается на всей длинѣ хода поршня изъ золотниковой коробки K_1 черезъ впускной каналъ u_1 поверхъ

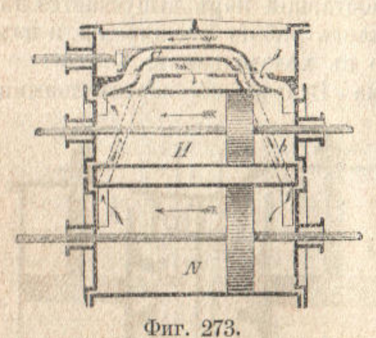


Фиг. 272.

[1]) Машины *двукратнаго дѣйствія* (въ двухъ цилиндрахъ) были изобрѣтены въ 1804 г. англ. инж. *Вульфомъ*, который устраивалъ сначала свои машины съ коромысломъ. Машины *компаундъ* (съ ресиверомъ) стали извѣстны съ 1829 г. и распространились на морскихъ судахъ съ 50-хъ годовъ. Съ 1873 г. на морскихъ судахъ стали вводить машины *троекратнаго* расширенія (triple expansion engines), въ которыхъ паръ дѣйствовалъ послѣдовательно въ трехъ цилиндрахъ, переходя изъ малаго (высокаго давленія), въ средній (средняго давленія) и наконецъ въ большой цилиндръ (низкаго давленія). Машины этого рода не требуютъ особаго ресивера. Существуютъ попытки (не обѣщающія впрочемъ успѣха въ экономическомъ отношеніи) устройства машинъ съ *четвернымъ расширеніемъ* (quadruple e.c.)

поршня; изъ нижней части цилиндра отработавшій паръ уходитъ по каналу u_2 подъ золотникъ, затѣмъ по выпускному каналу O и по соединительной трубѣ (обозначенной пунктиромъ) въ золотниковую коробку K_2 большаго цилиндра, откуда поступаетъ по каналу U_1 въ верхнюю часть большаго цилиндра B. Въ этомъ цилиндрѣ паръ работаетъ какъ свѣжій паръ изъ котла, только упругость его меньше. Съ другой стороны большаго поршня мятый паръ уходитъ по каналу U_2 подъ золотникъ, а оттуда въ холодильникъ.

Въ настоящее время машины Вульфа строятся большею частью безъ коромысла, при чемъ цилиндрамъ даютъ горизонтальное или наклонное положеніе, устанавливая ихъ рядомъ, одинъ надъ другимъ или одинъ за другимъ. Каждый цилиндръ снабжается отдѣльнымъ золотникомъ (обыкновенно коробчатымъ—Мейера или Ридера) или же, если паръ въ маломъ цилиндрѣ работаетъ безъ расширенія, для обоихъ цилиндровъ устанавливается въ общей золотниковой коробкѣ одинъ золотникъ *Гика,* какъ представлено на фиг. 273. На малый поршень съ правой стороны дѣйствуетъ свѣжій паръ; отработавшій паръ изъ лѣвой части цилиндра уходитъ по каналу *a*, сдѣланному въ золотникѣ, и затѣмъ по особой соединительной трубкѣ b въ правую часть большаго цилиндра, гдѣ и расширяется. Мятый паръ изъ большаго цилиндра выпускается въ холодильникъ, какъ показано стрѣлками.



Фиг. 273.

Хотя *работа пара въ машинахъ Вульфа*, какъ показываютъ вычисленія, *при одинаковой степени расширенія*, *равна работѣ того же количества пара въ машинѣ съ однимъ цилиндромъ*, *размѣры котораго равны размѣрамъ большаго цилиндра*, тѣмъ не менѣе система Вульфа представляетъ многія важныя преимущества передъ обыкновенными машинами. Чтобы выяснить эти достоинства м. Вульфа, предположимъ, что объемъ большаго цилиндра въ четыре раза больше малаго, а площадь большаго поршня въ три раза больше площади малаго поршня. Паръ, вступающій въ большой цилиндръ (стрѣлка 2), дѣйствуетъ на оба поршня: на большой — какъ движущая сила, на малый — какъ сопротивленіе. Но какъ площадь большаго поршня въ три раза больше малаго, то давленіе этого пара на большой поршень, направленное внизъ, въ три раза больше давленія его на малый поршень вверхъ, слѣд., *полезное давленіе* на общую крестовину *имѣетъ величину*, *вдвое большую* этого противодавленія на малый поршень. По мѣрѣ движенія поршней (въ одну и ту же сторону, по стрѣлкѣ), паръ расширяется все болѣе и болѣе, при чемъ упругость его постепенно уменьшается (у обо-

ихъ поршней). Въ концѣ хода поршней паръ, занимавшій до начала впуска въ большой цилиндръ объемъ, равный объему малаго цилиндра, будетъ занимать объемъ въ четыре раза большій, слѣд., его упругость будетъ въ четыре раза меньше первоначальной (допуская, что паръ расширяется, слѣдуя закону Маріотта, что весьма близко къ дѣйствительности, § 264). Отсюда слѣдуетъ:

1) *противодавленіе* отработавшаго пара *на малый поршень* въ началѣ его хода велико, но затѣмъ *постепенно уменьшается*; слѣд., *полезное давленіе* (§ 263) на этотъ поршень (въ началѣ небольшое) постепенно *возрастаетъ*, ибо рабочее давленіе свѣжаго пара на этотъ поршень остается постояннымъ. Наоборотъ, *полезное давленіе на большой поршень*, большое вначалѣ хода, постепенно затѣмъ уменьшается. Поэтому *полное полезное давленіе* на оба поршня въ теченіе всего хода поршня, при надлежащей соразмѣрности частей системы, *почти неизмѣняется*, не смотря на значительное расширеніе, что составляетъ одно изъ важнѣйшихъ достоинствъ разсматриваемой системы, обусловливающее чрезвычайно равномѣрный ходъ машинъ Вульфа.

Если приспособить распредѣлительный механизмъ малаго цилиндра къ расширенію пара и въ этомъ послѣднемъ, то получимъ *двукратное* расширеніе пара, при чемъ утилизированіе рабочей силы пара можетъ быть доведено до высшей степени. Если, въ предыдущемъ примѣрѣ устроить отсѣчку на $^1/_3$ хода малаго поршня, то паръ будетъ работать съ 12-кратнымъ расширеніемъ. Что касается *наивыгоднѣйшаго отношенія объемовъ цилиндровъ* (т. е. степени расширенія ε_2 въ большомъ ц.), то оно равно *степени расширенія* ε_1 въ маломъ цилиндрѣ. Полная степень расширенія $\varepsilon = \varepsilon_1 . \varepsilon_2$. Напр., если задана полная степень расширенія $\varepsilon = 9$, и степень расширенія въ маломъ ц. $\varepsilon_1 = 3$, то объемъ большаго ц. долженъ быть въ три раза больше объема малаго цилиндра. Если же паръ въ маломъ ц. работаетъ безъ расширенія ($\varepsilon_1 = 1$), то отношеніе объемовъ цилиндровъ опредѣляется заданною полною степенью расширенія ε; напр., при $\varepsilon = 9$, объемъ большаго цилиндра долженъ быть въ 9 разъ больше объема малаго цилиндра.

2) Другое преимущество системы Вульфа состоитъ въ томъ, что пространство, періодически сообщающееся съ холодильникомъ, слѣд., періодически охлаждающееся, наполняется паромъ пониженнаго давленія, а потому конденсація пара на стѣнкахъ происходитъ въ меньшей степени, нежели въ одноцилиндровыхъ машинахъ.

3) Наконецъ, потеря пара черезъ зазоры поршня и золотника гораздо меньше, нежели въ одноцилиндровыхъ машинахъ, ибо эта потеря находится въ прямой зависимости отъ разности давленій по обѣимъ сторонамъ поршня, а эта разность въ машинахъ Вульфа гораздо меньше.

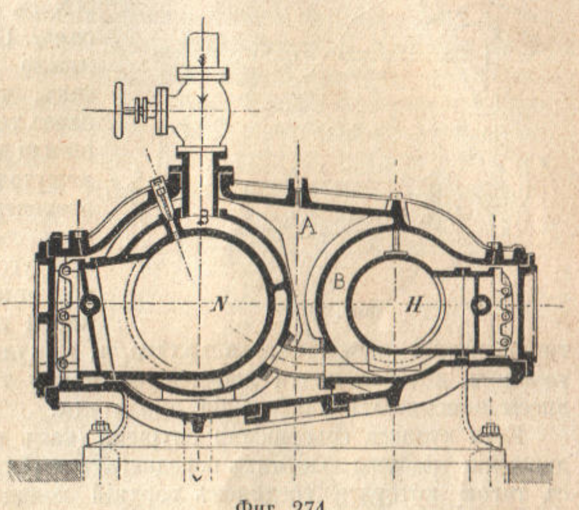
296. Распредѣленіе пара въ компаундъ-ресиверъ машинахъ.

Въ машинахъ Вульфа, какъ мы видѣли, вслѣдствіе расположенія кривошиповъ подъ угломъ 0° или 180°, оба поршня одновременно приходятъ въ одноименныя или разноименныя мертвыя точки, малый же цилиндръ бываетъ въ сообщеніи съ большимъ въ продолженіе всего хода поршня. Въ машинахъ системы *компаундъ* кривошипы расположены подъ угломъ 90°, вслѣдствіе чего, когда одинъ поршень находится въ мертвой точкѣ, другой въ этотъ моментъ находится почти въ серединѣ хода, такъ что одинъ кривошипъ сводитъ другой съ мертвой точки (§ 76—*кратные кривошипы*), что способствуетъ еще большей *равномѣрности* хода, нежели въ машинахъ Вульфа. На этомъ основаніи машины *компаундъ* наз. *машинами Вульфа безъ мертвыхъ точекъ.* Другое отличіе машинъ компаундъ отъ м. Вульфа состоитъ въ существованіи у первыхъ промежуточнаго резервуара (по англ. *ресиверъ*), помѣщаемаго между цилиндрами, въ который переходитъ паръ по окончаніи расширенія въ маломъ цилиндрѣ; изъ ресивера паръ поступаетъ въ большой цилиндръ, для котораго онъ играетъ роль котла. Отсюда названіе системы: *компаундъ-ресиверъ машины.*

Для уясненія необходимости ресивера, замѣтимъ, что такъ какъ сообщеніе и разобщеніе рабочей части большаго цилиндра съ нерабочей частью малаго должно происходить тогда, когда большой поршень находится въ своихъ мертвыхъ точкахъ, то ясно, что сообщеніе нерабочей части малаго цилиндра съ рабочей частью большаго будетъ происходить, когда малый поршень находится около середины своего хода, такъ что *въ теченіе первой половины размаха* паръ не выходитъ изъ нерабочей части малаго цилиндра, слѣд., долженъ подвергаться *сжатію.* Хотя работа, затраченная на это сжатіе, затѣмъ возвратилась бы для дѣйствія машины во время расширенія сжатаго пара, но при этомъ происходитъ излишняя потеря работы на безполезныя сопротивленія, которыя дѣйствуютъ какъ во время сжатія, такъ и во время расширенія. Очевидно, невыгодное вліяніе сжатія будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше будетъ то окончательное давленіе, до котораго будетъ доводиться упругость пара черезъ разсматриваемое сжатіе въ нерабочей части малаго цилиндра. Для достиженія этого устраиваютъ между большимъ и малымъ цилиндрами промежуточный *резервуаръ*, который въ теченіе первой половины размаха малаго поршня сообщенъ съ нерабочей частью малаго цилиндра, а *около середины его размаха* (т. е. около мертвой точки большаго поршня) *приходитъ въ сообщеніе съ рабочею частью большаго цилиндра*, оставаясь въ этомъ состояніи въ теченіе второй половины размаха малаго поршня, при чемъ большой поршень проходитъ первую половину своего хода. Затѣмъ нерабочая часть малаго цилиндра обращается въ рабочую; она должна быть отдѣлена отъ резервуара, съ которымъ приходитъ въ сообщеніе отработанная часть малаго цилиндра. Въ это время рабо-

чая часть большаго цилиндра также отдѣляется отъ резервуара: работа въ немъ производится расширеніемъ только что впущеннаго объема пара. Такое устройство требуетъ для каждаго цилиндра отдѣльнаго парораспредѣлительнаго прибора какъ для впуска, такъ и для выпуска пара.

Оба цилиндра компаундъ-машинъ имѣютъ обыкновенно паровыя рубашки (B, фиг. 274) съ прогрѣвомъ свѣжимъ паромъ. Ресиверъ устраивается обыкновенно въ видѣ кольцевой камеры A, окружающей оба цилиндра, а иногда въ видѣ отдѣльнаго цилиндра помѣщаемаго между паровыми цилиндрами (фиг. 298). Объемъ его дѣлается отъ $^2/_3$ до 1 объема большаго цилиндра.



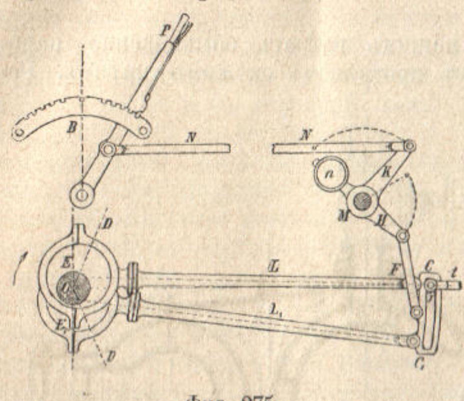
Фиг. 274.

Обладая весьма равномѣрнымъ ходомъ, *компаундъ-ресиверъ машины* легко могутъ быть приведены въ дѣйствіе изъ любаго положенія послѣ остановки, а потому уже успѣли вытѣснить почти всѣ другія системы морскихъ машинъ, распространяясь съ успѣхомъ и какъ обыкновенныя фабричныя машины.

297. Кулиссы. Въ тѣхъ случаяхъ, когда машина должна измѣнять направленіе своего движенія—*получать обратный ходъ* (такъ наз. *реверсивныя* машины: локомотивныя, пароходныя, прокатныя, углеподъемныя и т. п.) необходимо имѣть средство быстро и удобно переставлять золотникъ ея, такъ чтобы пролетъ, выпускающій паръ, сдѣлался пролетомъ впускнымъ; тогда паръ, устремившись изъ котла въ нерабочую часть цилиндра, заставитъ поршень, а, слѣд., и кривошипъ перемѣнитъ ходъ. Механизмы, служащіе для этой цѣли наз. *кулиссами*; изъ нихъ наиболѣе распространены кулиссы *Стифенсона*, *Гуча* и *Аллана*.

Кулисса Стифенсона (1842 г.) состоитъ изъ двухъ эксцентриковъ E и E_1 (фиг. 275), заклиненныхъ на валу O семметрично по отношенію къ кривошипу подъ углами $90 + \beta$ (β — уголъ опереженія). Концы тягъ L и L_1 этихъ эксцентриковъ соединены посредствомъ шарнировъ съ концами дугообразной пэлосы C C_1, обращенной выпуклостью къ цилиндрамъ и наз. *кулиссою*, въ про-

рѣзѣ которой помѣщенъ ползунъ j (или такъ наз. *камень* кулиссы), съ которымъ сочлененъ штокъ золотника. Кулисса подвѣшена своею серединою посредствомъ серьги F къ концу H рычага HMK, который можетъ вращаться около неподвижной оси M, и уравновѣшена противовѣсомъ n. Конецъ K рычага HMK соединяется при помощи полосы NN съ рычагомъ P *(реверсомъ)*. Поворачивая реверсъ, можно установить кулиссу такъ, что ползунъ станетъ близъ того или другаго конца ея или въ произвольной промежуточной точкѣ. Такъ какъ эксцентрицитеты эксцентриковъ составляютъ между собою уголъ, близкій къ 180°, то когда верхній конецъ кулиссы идетъ слѣва направо,



Фиг. 275.

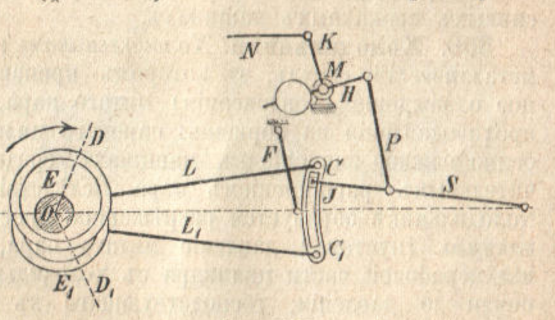
тогда нижній идетъ справа налѣво, т. е. кулисса качается около точки m, которая почти неподвижна, между тѣмъ какъ концы кулиссы описываютъ наибольшія амплитуды.

Если кулисса совершенно опущена (какъ на фиг. 275), то при движеніи машины золотникъ передвигается тѣмъ эксцентрикомъ (E), съ тягою котораго соединенъ верхній конецъ кулиссы, т. е. въ этомъ случаѣ парораспредѣленіе производится также, какъ въ паровыхъ машинахъ съ однимъ золотникомъ. Вращеніе вала происходитъ по стрѣлкѣ (*прямой ходъ*). Если же переставить камень ближе къ срединѣ кулиссы, то *величина хода золотника уменьшится*, какъ будто-бы золотникъ передвигался эксцентрикомъ, имѣющимъ меньшій эксцентрицитетъ. Но съ уменьшеніемъ эксцентрицитета уменьшается впускъ пара въ цилиндръ (§ 284); слѣд., *чѣмъ ближе стоитъ камень къ срединѣ кулиссы*, *тѣмъ меньше впускъ свѣжаго пара въ цилиндръ*, т. е. тѣмъ съ большимъ расширеніемъ будетъ работать паръ; однако, вмѣстѣ съ тѣмъ *увеличивается притокъ контръ-паровъ* (линейное опереженіе впуска, т. е. величина открытія паровпускныхъ каналовъ, когда поршень стоитъ въ мертвой точкѣ) и при томъ въ такой степени, что когда камень стоитъ въ срединѣ кулиссы притокъ контръ-паровъ происходитъ на такой же части длины хода поршня, какъ и притокъ свѣжаго пара (расширеніе и сжатіе при этомъ также симметричны); слѣд., при этомъ положеніи камня *работа полезнаго давленія пара равна нулю*: машина должна остановиться рано или поздно. Поэтому середина кулиссы наз. *мертвою точкою*. Наконецъ, если кулисса будетъ совершенно поднята, такъ что камень ея будетъ стоять въ ниж-

немъ концѣ кулиссы, то на движеніе камня будетъ оказывать вліяніе только эксцентрикъ E_1, причемъ кривошипъ будетъ вращаться въ сторону, противоположную стрѣлкѣ (*обратный ходъ*).

Изъ сказаннаго ясно, что при помощи кулиссы Стифенсона можетъ быть достигнута не только *перемѣна хода* машины, но и измѣненіе отсѣчки. Передвиженіе реверса въ небольшихъ машинахъ, напр. локомотивахъ, совершается отъ руки, что не составитъ затрудненія, если части хорошо уравновѣшены противовѣсомъ n; для удержанія реверса на извѣстномъ зубцѣ дуги B (въ локомотивахъ обыкновенно на третьемъ) отъ передняго края (для *передняго хода* паровоза) служитъ особая западня (*шпингалетъ*), прикрѣпленная къ реверсу. Въ большихъ реверсивныхъ машинахъ (мореходныхъ, прокатныхъ) передвиженіе реверса производится при помощи винтоваго привода, который самъ получаетъ движеніе или отъ руки или отъ особой маленькой реверсивной машинки, кулиссу которой машинистъ передвигаетъ отъ руки (въ большихъ морскихъ пароходныхъ машинахъ).

298. Кулисса Гуча (фиг. 276) отличается отъ предыдущей во первыхъ тѣмъ, что она обращена къ цилиндру *вогнутою* стороною, а во вторыхъ тѣмъ, что сама кулисса подвѣшена помощью тяги F не къ переводному рычагу, а къ неподвижной точкѣ, къ переводному же рычагу подвѣшена золотниковыя тяга S, такъ что при движеніи реверса передвигается камень, а не кулисса. Верхній эксцентрикъ E соотвѣтствуетъ переднему ходу машины, нижній E_1—заднему.

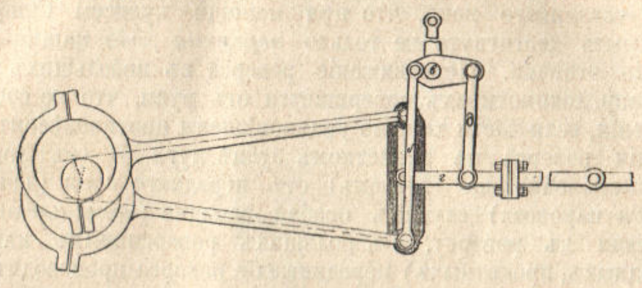


Фиг. 276.

Преимущество кулиссы Гуча передъ кулиссою Стифенсона заключается въ томъ, что при всякой степени расширенія, какъ для прямаго, такъ и для обратнаго хода, *линейное опереженіе остается безъ измѣненія*, слѣд. кулисса Гуча работаетъ правильнѣе кулиссы Стифенсона, но устройство ея менѣе компактное: она занимаетъ много мѣста въ длину, а потому почти никогда не примѣняется въ паровозахъ и пароходахъ, но за то очень часто при углеподъемныхъ машинахъ большой силы.

299. Кулисса Аллана (фиг. 277) представляетъ комбинацію предыдущихъ кулиссъ. Сама кулисса совершенно *прямая* и подвѣшена вмѣсѣ съ золотниковою тягою къ двумъ плечамъ б и д одного и того же рычага в, такъ что при движеніи реверса и ку-

лисса и золотниковая тяга *г* передвигаются одновременно, но въ противоположныя стороны. Какъ и въ кулиссѣ Стифенсона, съ увеличенiемъ расширенiя *увеличивается опереженiе впуска.* Кулисса



Фиг. 277.

Аллана сложнѣе всѣхъ предыдущихъ; изнашиванiе многочисленныхъ шарнировъ ея оказываетъ большое влiянiе на правильность ея дѣйствiя. Примѣняется она главнымъ образомъ при большихъ реверсивныхъ прокатныхъ машинахъ.

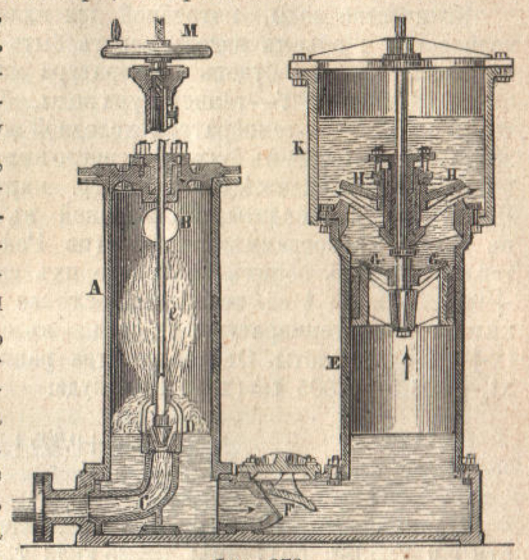
300. Холодильники. *Холодильникомъ* или *конденсаторомъ* наз. металлическiй сосудъ, въ которомъ производится быстрое и полное охлажденiе (конденсацiя) мятаго пара, съ цѣлью уменьшенiя противодавленiя на поршень пароваго цилиндра, что имѣетъ особенно важное значенiе въ машинахъ средняго давленiя съ значительнымъ расширенiемъ пара. Вслѣдствiе конденсацiи пара въ холодильникѣ образуется разрѣженное пространство или такъ наз. *вакуумъ* (пустота); давленiе мятаго пара, въ моментъ сообщенiя нерабочей части цилиндра съ холодильникомъ, быстро падаетъ почти до давленiя, господствующаго въ холодильникѣ; соотвѣтственный вакуумъ въ конденсаторѣ поддерживается непрерывнымъ охлажденiемъ вступающагося въ него мятаго пара.

Холодильники бываютъ трехъ родовъ: 1) *холодильники съ внутреннимъ охлажденiемъ;* 2) *поверхностные* холодильники или съ *наружнымъ охлажденiемъ* и 3) *водоструйные холодильники.*

301. Холодильникъ съ наружнымъ охлажденiемъ (фиг. 278) состоитъ изъ слѣдующихъ главныхъ частей:

1) Собственно *холодильника* А, герметически закрытаго чугуннаго сосуда, въ которомъ происходитъ конденсацiя пара и образованiе вакуума. Давленiе въ холодильникѣ, которое всегда меньше 1 атм., указывается особымъ приборомъ, сходнымъ съ манометромъ и наз. *вакуметромъ.* Спиральная трубка вакуметра, несущая стрѣлку имѣетъ болѣе плоскую форму и болѣе тонкiя стѣнки, нежели у манометра. Будучи сообщена съ вакуумомъ она *сплющивается*, подъ дѣйствiемъ избытка наружнаго давленiя, и тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе давленiе въ холодильникѣ, при чемъ стрѣлка продвигается

слѣва на право отъ нуля, которому соотвѣтствуетъ давленіе въ холодильникѣ равное 1 атм.; это давленіе бываетъ въ немъ передъ началомъ работы, когда холодильникъ еще не приготовленъ. *Подготовка* состоитъ въ томъ, что черезъ особый кранъ впускаютъ въ холодильникъ свѣжій паръ, который выгоняетъ скопившійся воздухъ и, конденсируясь на стѣнкахъ, образуетъ надлежащій вакуумъ. Циферблатъ вакуметра имѣетъ 30 дѣленій, по числу дюймовъ ртутнаго способа, измѣряющаго атмосферное давленіе. Каждому дѣленію, на которое повернется стрѣлка, будетъ отвѣчать пониженіе давленія въ холодильникѣ на $^1/_{30}$ атм. Такъ, напр., если давленіе въ холодильникѣ будетъ $^3/_4$ атм., то стрѣлка сдѣлаетъ $^1/_4$ оборота, т. е. будетъ указывать дѣленіе 7,5, если вакуумъ будетъ въ $^1/_2$ атм., то стрѣлка сдѣлаетъ $^1/_2$ оборота, т. е. укажетъ дѣленіе 15, наконецъ если бы въ холодильникѣ былъ абсолютный вакуумъ (безвоздушное пространство), то стрѣлка сдѣлала-бы полный оборотъ, возвратясь къ 0. Но *въ холодильникѣ никогда не можетъ быть достигнута абсолютная пустота*, потому что съ одной стороны въ него непрерывно вступаетъ мятый паръ и наружный воздухъ проникаетъ черезъ неплотности флянцовыхъ соединеній и сальниковъ, а съ другой стороны потому, что и паръ и охлаждающая вода приносятъ съ собою довольно значительное количество воздуха. Вакуумъ считается достаточнымъ, если давленіе въ холодильникѣ находится въ предѣлахъ 0,15—0,2 атм., чему соотвѣтствуетъ температура холодильника 50° — 60°C. Для средняго давленія 0,2. атм. показаніе стрѣлки будетъ 24 дѣл.



Фиг. 278.

2) *вбрызгиватель* (D) холодной воды, которая приводится трубою C, закрытою коническимъ клапаномъ D, служащимъ для регулированія (сообразно показанію вакуметра) количество впрыскиваемой воды. Движеніе клапану сообщается при помощи стержня e, проходящаго черезъ сальникъ, сдѣланный въ крышкѣ холодильника, и снабженнаго на концѣ ручнымъ маховичкомъ M. Вода вбрызгивается на встрѣчу входящему пару черезъ кольцеобразное

отверстіе, образующееся въ устьѣ трубы, при чемъ почти весь паръ конденсируется. Вода собирается въ нижней части холодильника.

3) *насосъ холодной воды*, имѣющій назначеніе накачивать воду въ резервуаръ, изъ котораго она расходуется черезъ вбрызгиватель. Этотъ насосъ обыкновенно простаго дѣйствія.

Количество воды, потребной для охлажденія пара, а поэтому количеству и объемъ насоса могутъ быть опредѣлены слѣдующимъ образомъ. Пусть t будетъ температура мятаго пара, вступающаго въ холодильникъ, t'—температура воды, образующейся послѣ охлажденія пара и t_0—температура холодной воды, вбрызгиваемой въ холодильникъ. Назовемъ буквою x число килограммовъ холодной воды, потребной для охлажденія 1 килогр. пара данной температуры t. Число единицъ теплоты, заключенной въ этой водѣ, будетъ xt_0, а въ одномъ килограммѣ паровъ (по Реньо): $606,5+0,305\,t$ ед. тепл.; слѣд., въ обоихъ тѣлахъ до ихъ смѣшенія находится: xt_0+ $+606,5+0,305\,t$ ед. теплоты. Послѣ же смѣшенія получится $x+1$ килогр. воды температуры t', слѣд., въ смѣси будетъ заключаться $(x+1)t$ ед. теплоты. Эти количества равны между собою, поэтому: $xt_0+606,5+0,305\,t=(x+1)t'$, откуда:

$$x=\frac{606,5+0,305\,t-t'}{t'-t_0}.$$

Принимая $t_0=12^0$, $t=76^0$ (для давленія мятаго пара въ 0,4 атм.) и $t'=36^0$, получимъ: $x=25$ кил.; т. е. *на каждый килограммъ пара необходимо 25 килограммовъ холодной воды*. Если машина выбрасываетъ въ холодильникъ въ одинъ оборотъ K килогр. пара, то количество воды, потребной для его охлажденія, будетъ:

$$P=\frac{K(606,5+0,305t-t')}{t'-t_0}\ \text{klg.}$$

Помноживъ вѣсъ P воды на ея уд. объемъ (объемъ, занимаемый однимъ klg.: $\sigma=\frac{1}{\Delta}=0,001$ куб. м.), получимъ объемъ W воды, потребной для охлажденія K кил. пара: $W=P\sigma=0,001\,P$ куб. м. Поэтому объему воды могутъ быть опредѣлены размѣры насоса (глава XV). Въ практикѣ объемъ этого насоса принимается равнымъ $^1/_{20}$ объема, описываемаго паровымъ поршнемъ.

4) *воздушный насосъ* KE, имѣющій назначеніе удалять изъ холодильника *продукты охлажденія*—смѣсь воды, воздуха и пара, неуспѣвшаго охладиться. Воздухъ входитъ въ холодильникъ вмѣстѣ съ холодною водою, въ которой его содержится, при обыкновенномъ атм. давленіи, до 5% по объему. Насосъ называется *воздушнымъ*, потому что воздухъ составляетъ большую часть (по объему)

продуктовъ охлажденія. Воздушные насосы бываютъ *вертикальные*, *горизонтальные* или *наклонные*. Первые обыкновенно *простаго дѣйствія* (забираютъ воду въ теченіе одного изъ двухъ ходовъ поршня, составляющихъ *двойной размахъ* его) и устанавливаются отдѣльно отъ холодильника (фиг. 278), послѣдніе почти всегда *двойнаго дѣйствія* (забираютъ воду въ теченіе прямаго и обратнаго хода поршня) и помѣщаются внутри холодильника.

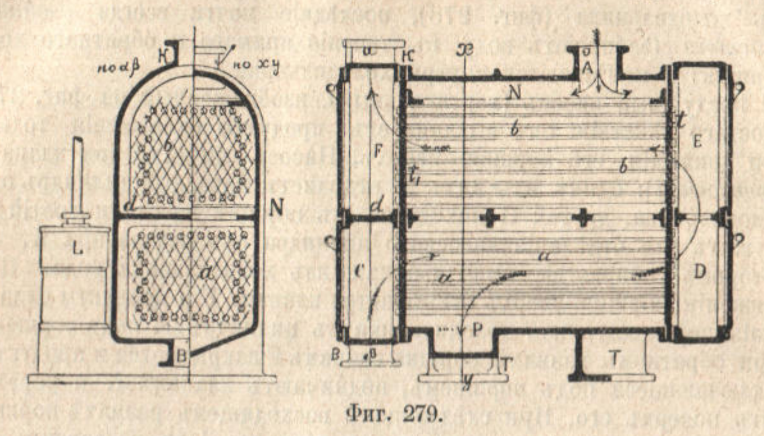
Воздушный насосъ (вертикальный), изображенный на фиг. 278, простаго дѣйствія: онъ выкачиваетъ продукты охлажденія только при движеніи его поршня вверхъ. Насосъ имѣетъ три клапана (*бронзовыхъ*): одинъ изъ нихъ F отдѣляетъ насосный цилиндръ отъ холодильника, другой G находится въ поршнѣ насоса и третій H служитъ для отдѣленія насоснаго цилиндра отъ резервуара K, въ которомъ собирается выкачиваемая изъ холодильника вода. При движеніи поршня вверхъ открывается клапанъ F и продукты охлажденія переходятъ изъ холодильника въ цилиндръ E подъ поршень. При обратномъ размахѣ поршня клапанъ F закрывается и продукты, заключающіеся подъ поршнемъ, поднимаютъ клапанъ G и переходятъ поверхъ его. При слѣдующемъ восходящемъ размахѣ поршня эти продукты выталкиваются черезъ клапанъ H въ резервуаръ K, откуда *часть воды отводится прочь*, а часть ея идетъ по особой трубѣ *въ питательный насосъ* для накачиванія въ котелъ. Поршень насоса дѣлается чугунный или бронзовый съ такою же набивкою; насосный стаканъ –чугунный.

Объемъ воздушнаго насоса на практикѣ опредѣляется обыкновенно по объему V пароваго цилиндра; именно, въ насосахъ простаго дѣйствія онъ дѣлается отъ $^1/_4$ до $^1/_5$ V, а въ насосахъ двойнаго дѣйствія отъ $^1/_8$ до $^1/_{10}$ V. *Объемъ холодильника* дѣлается въ два раза болѣе объема воздушнаго насоса.

Что касается работы, расходуемой на движеніе всѣхъ трехъ насосовъ (воздушнаго, питательнаго и холодной воды), то, какъ показываютъ опыты, она составляетъ, приблизительно, отъ $^1/_{10}$ до $^1/_{15}$ заловой работы машины; а для одного воздушнаго насоса отъ $^1/_{20}$ до $^1/_{30}$ этой работы.

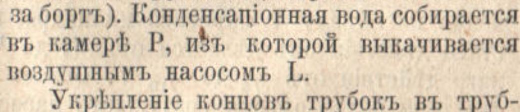
302. Поверхностные холодильники (трубчатые), изобрѣтенные въ 1836 г. амер. *Голлемъ*, состоятъ изъ тѣхъ же частей какъ и холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ, но въ нихъ холодная вода не смѣшивается съ осажденнымъ паромъ, что особенно важно для морскихъ машинъ, въ которыхъ для охлажденія употребляется морская вода, дающая много осадковъ. Посредствомъ такихъ холодильниковъ явилась возможность питать котелъ исключительно прѣсною водою, получаемою отъ конденсаціи пара; небольшое количество морской воды (берется изъ холодильника же) требуется лишь для вознагражденія неизбѣжныхъ протековъ пара черезъ зазоры.

Въ трубчатомъ холодильникѣ, представляемомъ на фиг. 279, мятый паръ вступаетъ по трубѣ A въ холодильникъ N, въ которомъ помѣщена система тонкихъ латунныхъ трубокъ a,b, укрѣпленныхъ концами въ бронзовыхъ стѣнкахъ t, t_1, ограничи-

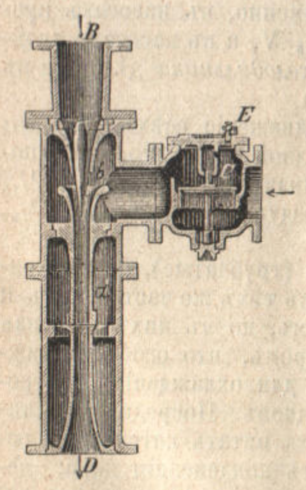


Фиг. 279.

вающихъ холодильникъ слѣва и справа. Холодная вода (забираемая насосомъ изъ моря) вступаетъ въ камеру C, изъ которой по нижней системѣ трубокъ a проходитъ въ камеру D, изъ этой послѣдней поднимается въ отдѣленіе E, идетъ затѣмъ по верхней системѣ трубокъ b и выходитъ по трубѣ K (выбрасывается снова


за бортъ). Конденсаціонная вода собирается въ камерѣ P, изъ которой выкачивается воздушнымъ насосомъ L.

Укрѣпленіе концовъ трубокъ въ трубныхъ доскахъ производится слѣдующимъ способомъ. Отверстіе въ доскѣ разсверливаютъ снаружи, на глубинѣ 15—20 $^m/_m$, на 4—6 $^m/_m$ шире діаметра трубокъ и въ полученной выемкѣ дѣлаютъ нарѣзку; затѣмъ обматываютъ конецъ трубки набивкою (пеньковою) и ввинчиваютъ въ выемку латунное кольцо, которое плотно сожметъ набивку. Иногда нарѣзки не дѣлаютъ въ выемкѣ, а загоняютъ прямо въ нее кольцо изъ мягкаго дерева, которое разбухнувъ образуетъ само плотную набивку.



Фиг. 280.

303. Водоструйный холодильникъ Кертинга (фиг. 280) отличающійся чрезвычайной простотой устройства представляетъ въ сущности инжекторъ, въ которомъ вода и паръ мѣняются

ролями. Холодная конденсацiонная вода вступаетъ въ холодильникъ по трубѣ В, принимаетъ въ b форму полаго цилиндра (для лучшей конденсацiи пара дѣйствiемъ увеличенной поверхности прикосновенiя) и затѣмъ пройдя двуконусную внутреннюю трубку а, выходитъ изъ холодильника черезъ отверстiе D. Мятый паръ вступаетъ въ конденсаторъ черезъ клапанъ С (клапанъ этотъ необходимъ для предупрежденiя случайнаго проникан҆iя воды въ паровой цилиндръ). Дѣйствiе сильной струи воды заключается во всасыванiи и охлажденiи мятаго пара. Конденсацiонная вода выбрасывается въ общей струѣ воды черезъ отверстiе D. Воздушный кранъ Е служитъ для выпуска воздуха при началѣ дѣйствiя прибора. Для образованiя достаточнаго вакуума вода вступаетъ въ ходильникъ подъ напоромъ не менѣе 4 м. Если не существуетъ естественнаго напора, то необходимо поставить насосъ холодной воды, который поднималъ бы воду въ особый резервуаръ, расположенный на необходимой высотѣ. Водопроводная труба должна быть, какъ и самый приборъ, установлена совершенно вертикально, по возможности безъ изгибовъ.

ЗАДАЧИ.

104. Дано: уголъ опереженiя коробчатаго золотника $\beta = 30^0$, наружная перекрыша $= 0{,}4r$, внутренняя перекрыша $= 0{,}1r$, ширина паровпускнаго канала $= 0{,}6r$, гдѣ r есть эксцентритетъ эксцентрика. Опредѣлить (вычисленiемъ): 1) величину открытiя впускнаго и выпускнаго окошекъ при мертвомъ положенiи поршня; 2) какую часть своего хода 1 прошелъ поршень: а) когда впускное окно вполнѣ открыто, b) когда оно снова начинаетъ закрываться, с) когда происходитъ отсѣчка и d) когда начинается выпускъ расширившагося пара; 3) какую часть хода прошелъ поршень: а) когда выпускное окно вполнѣ открыто, b) когда оно снова начинаетъ закрываться, с) когда выпускъ прекращается и d) когда начинается впускъ контръ-паровъ.

105. Какъ велики должны быть внѣшняя и внутренняя перекрыши (е и i) и уголъ опереженiя β простаго коробчатаго золотника, если линейное опереженiе впуска должно быть$=0{,}1r$, а линейное опереженiе выпуска$=0{,}4r$ и если степень расширенiя $\varepsilon = \frac{4}{3}$?

106. Какой путь прошелъ поршень при золотникѣ предыдущей задачи, когда начинается прекращенiе выпуска мятаго пара?

107. Золотникъ подверженъ давленiю пара въ 5 klg. на кв. сант. Принимая полную площадь, подверженную давленiю, въ 2 кв. дециметра, коэфф. тренiя $f=0{,}1$, ходъ золотника 0,1 м. и число оборотовъ главнаго вала $n=30$, опредѣлить: 1) усилiе, которое необходимо приложить къ штоку золотника, чтобы заставить его двигаться (не принимая во вниманiе его вѣса) и 2) работу, поглощаемую въ сек. тренiемъ золотника о поверхность стола.

108. Опредѣлить размѣры холодильника Уатта для паровой машины зад. 103.

ГЛАВА XIII.

Системы постоянныхъ паровыхъ машинъ.

Передвижныя машины.

Системы паровыхъ машинъ. — Историческій очеркъ развитія паровыхъ машинъ. — Горизонтальныя одноцилиндровыя машины. — Вертикальныя одноцилиндровыя машины.—Качающіяся и коловратныя машины.—Сдвоенныя и строенныя машины.—Горизонтальная машина Вульфа.—Компаундъ-ресиверъ машина.—Управленіе и уходъ за паровою машиною.—Паровозы. — Паровозный котелъ, машина и экипажная часть.—Работа паровозной машины; сила тяги паровоза; сопротивленіе поѣзда движенію.—Паразитныя движенія паровоза.—Типы паровозовъ.—Управленіе и содержаніе паровоза.—Локомобили.— Управленіе локомобилемъ. —Полулокомобили.—Пароходныя машины.

304. Системы паровыхъ машинъ. Всѣ паровыя машины могутъ быть, какъ мы видѣли (§ 262), отнесены къ слѣдующимъ двумъ группамъ: 1) *постоянныя машины*, устанавливаемыя на неподвижномъ фундаментѣ и 2) *передвижныя машины* (локомотивы, локомобили, полулокомобили, пароходныя машины), приспособленныя къ передвиженію съ мѣста на мѣсто.

Постоянныя машины *по ихъ конструкціи* раздѣляются на *одноцилиндровыя*, *двуцилиндровыя* (*сдвоенныя*), *трехцилиндровыя* (*строенныя*, *тройныя*), *машины Вульфа*, *компаундъ-ресиверъ машины*, *тройныя компаундъ-машины*, *качающіяся машины* и, наконецъ, *коловратныя машины* (*вращательныя*).

По *способу установки* постоянныя машины бываютъ: *вертикальныя*, *горизонтальныя*, *діагональныя*, *стѣнныя*, *балансирныя*.

По *способу передачи работы* онѣ раздѣляются на машины *прямаго дѣйствія* (*спеціальныя*), въ которыхъ штокъ пароваго поршня дѣйствуетъ непосредственно на исполнительный механизмъ (молотъ, насосъ и т. п.) и *машины непрямаго дѣйствія или съ передачею* (*заводскія*), которыя всю полезную работу передаютъ главному валу, отъ котораго получаютъ движеніе различныя рабочія машины.

I. ПОСТОЯННЫЯ МАШИНЫ.

305. Краткій историческій очеркъ постепеннаго развитія постоянныхъ паровыхъ машинъ. Первое описаніе прибора, основаннаго на дѣйствіи пара, было дано *Герономъ Александрійскимъ* [1]) (за 200 л. до Р. Х.), преемникомъ Архимеда и изобрѣтателемъ фонтана и сифона. Приборъ Герона, извѣстный подъ

---

[1]) Въ небольшемъ соч. Spiritalia, заключавшемъ описаніе изобрѣтенныхъ Герономъ автоматовъ и физическихъ игрушекъ.

именемъ *эолепила* (фиг. 281), состоялъ изъ пустотѣлаго шара A, въ который приводился паръ трубою C изъ вазы B, игравшей роль котла. Паръ, выходя изъ эолипила съ большою скоростью по загнутымъ трубкамъ a и b, приводилъ шаръ A, дѣйствіемъ реакціи, во вращательное движеніе около оси CD.

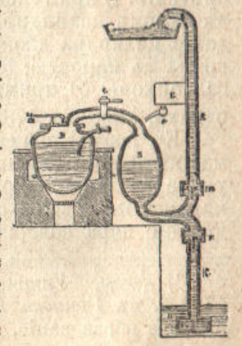


Фиг. 281.

До 17-го столѣтія не замѣчается никакого дальнѣйшаго развитія идеи, данной Герономъ.

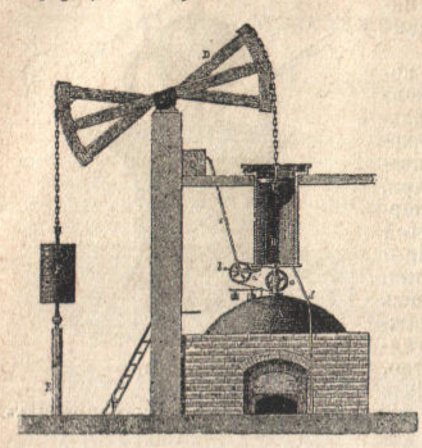
Первая поршневая машина была построена фр. физикомъ *Денисомъ Папеномъ* въ 1690 г. Она состояла изъ вертикальнаго цилиндра, открытаго сверху, въ которомъ двигался поршень. Вода наливалась прямо подъ поршень въ цилиндръ, который снизу нагрѣвался. Поднятіе поршня совершалось дѣйствіемъ упругой силы образующагося пара, а опусканіе—давленіемъ атмосферы поверхъ поршня, причемъ подъ поршнемъ производилась пустота черезъ конденсацію пара. Охлажденіе пара производилось простымъ ѣотнятіемъ огня изъ подъ цилиндра. Понятно, что такая машина не могла получить никакого практическаго значенія по причинѣ медленности и неправильности движенія.

Почти одновременно съ Папеномъ англійскій инженеръ капитанъ *Томасъ Савери* построилъ въ 1698 г. паровой насосъ (фиг. 282), назначенный для выкачиванія воды изъ рудниковъ и получившія сразу большое промышленное значеніе. Паръ изъ котла B идетъ по трубѣ C въ сосудъ S и непосредственнымъ давленіемъ гонитъ воду, заключающуюся въ этомъ сосудѣ, черезъ клапанъ m по нагнетательной трубѣ A. Когда сосудъ S опорожнится, прекращаютъ впускъ пара, закрывъ кранъ C. Пустивъ затѣмъ въ сосудъ S струю холодной воды изъ сосуда E, производятъ пустоту чрезъ конденсацію пара, вслѣдствіе чего вода давленіемъ атмосферы всасывалась по трубѣ K черезъ всасывающій клапанъ n въ сосудъ S. Такимъ образомъ, подъемъ воды этою машиною достигался попеременнымъ открываніемъ крановъ O и e. Главный недостатокъ этой машины заключался въ огромной потерѣ теплоты вслѣдствіе нагрѣванія воды, соприкасавшейся съ паромъ, который уже при входѣ въ сосудъ S частію сгущался. Не смотря на это, машина Савери получила большое значеніе въ промышленности при своемъ появленіи, ибо въ то время замѣна лошадиной силы паровою представляла вопросъ первостепенной важности, потому что для откачки воды въ нѣкоторыхъ рудникахъ требовались цѣлые табуны лошадей въ нѣсколько сотъ головъ. Но машина Савери, по самой сущности своего устройства, не могла имѣть универсальнаго значенія въ качествѣ пароваго двигателя.


Фиг. 282.

Первую попытку въ этомъ направленіи представляетъ поршневая машина *Ньюкомена* и *Коули*, патентованная въ 1705 г. Она состояла изъ деревяннаго коромысла (фиг. 283), къ концамъ котораго, помощью цѣпей, съ одной стороны подвѣшивалась насосная штанга съ противовѣсомъ F, а съ другой — поршень чугуннаго пароваго цилиндра B, открытаго сверху. Паръ изъ полусферическаго котла A приводился подъ поршень трубкою a,

снабженною краномъ. Охлажденіе пара въ цилиндрѣ совершалось по способу Савери, вбрызгиваніемъ холодной воды изъ резервуара G черезъ кранъ b. Вслѣдствіе образовавшейся пустоты, поршень изъ верхняго положенія, представленнаго на чертежѣ, опускался подъ давленіемъ атмосферы; поэтому машина Ньюкомена получила названіе *атмосферической паровой машины*. Закрывъ затѣмъ кранъ b и открывъ кранъ a, впускали паръ изъ котла подъ поршень. Хотя упругость пара въ котлѣ была больше атмосферы (около $1^1/_4$ атм.), но давленіе пара въ цилиндрѣ было почти равно атмосферному, по причинѣ пониженія температуры пара, вступающаго въ охлажденный передъ тѣмъ цилиндръ. Поршень поднимался дѣйствіемъ противовѣса F при уравновѣшенномъ давленіи на поршень. Главный недостатокъ этой машины заключался, какъ и въ машинѣ Савери, въ безполезной потерѣ теплоты на нагрѣваніе стѣнокъ цилиндра.



Фиг. 283.

Почти всѣ наиболѣе существенныя изобрѣтенія и усовершенствованія въ паровой машинѣ были сдѣланы знаменитымъ *Джемсомъ Уаттомъ* [1]), который по справедливости считается творцомъ паровой машины современнаго типа. Въ его патентѣ 1769 г. значатся слѣдующія капитальныя изобрѣтенія: 1) примѣненіе отдѣльнаго холодильника взамѣнъ конденсаціи пара въ самомъ цилиндрѣ, съ цѣлью устраненія охлажденія послѣдняго; 2) введеніе цилиндра двойнаго дѣйствія, т. е. превращеніе атмосферической машины въ паровую; 3) устройство паровой рубашки и кожуха; 4) введеніе сальниковъ; 5) примѣненіе расширенія пара, которое было введено имъ, однако, лишь въ 1782 г.

Къ позднѣйшимъ изобрѣтеніямъ Уатта принадлежатъ: a) примѣненіе маховаго колеса и центробѣжнаго регулятора, придавшее паровой машинѣ универсальное значеніе; b) введеніе парораспредѣлительнаго золотника для машинъ небольшей силы; въ большихъ машинахъ съ маховикомъ распредѣленіе пара совершалось четырьмя коническими клапанами при помощи

---

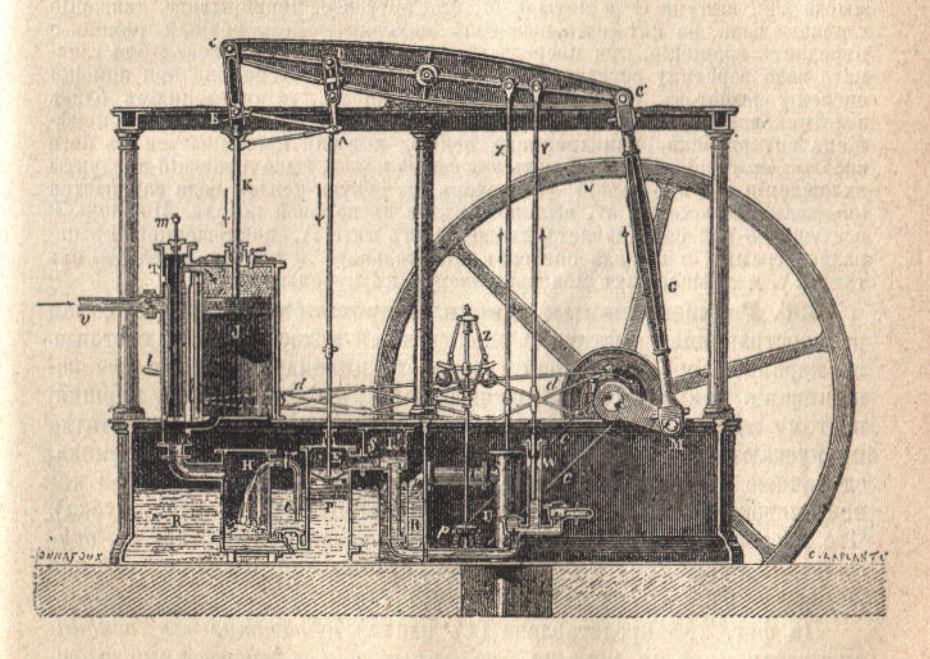
[1]) *Джемсъ Уаттъ*, величайшій изъ изобрѣтателей всего міра, родился въ 1736 г. въ *Гринокѣ* (въ Шотландіи), умеръ въ 1819 г. Получивъ лишь начальное образованіе, Уаттъ поступилъ простымъ рабочимъ (16 лѣтъ) въ небольшую физико-механическую мастерскую въ Гринокѣ, откуда черезъ 4 года перешелъ въ Лондонъ, гдѣ работалъ у конструктора морскихъ инструментовъ. Болѣзнь заставила его однако скоро вернуться на родину: онъ поселился въ Глазго, гдѣ былъ приглашенъ въ университетъ въ качествѣ конструктора физическихъ приборовъ (1763 г,). Получивъ отъ профессора физики Андерсона для исправленія модель машины Ньюкомена, Уаттъ обратилъ вниманіе на ея существенные недостатки: потерю теплоты вслѣдствіе охлажденія стѣнокъ цилиндра и несовершенную конденсацію пара, вслѣдствіе нагрѣванія охлаждающей воды. Стремленіе устранить эти недостатки привело его къ устройству отдѣльнаго холодильника (1765 г.) и къ другимъ изобрѣтеніямъ, означеннымъ въ патентѣ 1769 г., осуществленія котораго Уаттъ достигъ благодаря матеріальной поддержкѣ извѣстнаго въ то время бирмингамскаго заводчика *Больтона*.

рычажнаго привода, получавшаго движеніе отъ стержня воздушнаго насоса; c) введеніе параллелограмма (1784 г.); d) введеніе автоматическаго регулированія хода машины поворотнымъ клапаномъ.

Вслѣдствіе неудовлетворительнаго состоянія техники котельнаго дѣла, Уаттъ строилъ исключительно машины *низкаго* давленія (съ коромысломъ) съ незначительнымъ расширеніемъ. Введеніе пара средняго давленія и примѣненіе значительнаго расширенія его въ двухъ цилиндрахъ принадлежитъ Вульфу (1804 г.), который замѣнилъ котлы Уатта, имѣвшіе коробчатую форму, болѣе прочными цилиндрическими котлами.

Первое примѣненіе автоматическаго регулированія отсѣчкою пара при перемѣнномъ сопротивленіи принадлежитъ *Модзлею* (1838 г.). Впослѣдствіи эта система была примѣнена *Фарко* (1838 г.), *Мейеромъ* (1842 г.), *Корлиссомъ* (1848 г.), *Зульцеромъ* и *Кольманомъ* въ изобрѣтенныхъ ими парораспредѣлительныхъ приборахъ.

На фиг. 284 изображена въ вертикальномъ разрѣзѣ *балансирная ма-*



Фиг. 284.

шина Уатта низкаго давленія безъ отсѣчки, но съ охлажденіемъ, представляющая въ настоящее время лишь историческій интересъ.

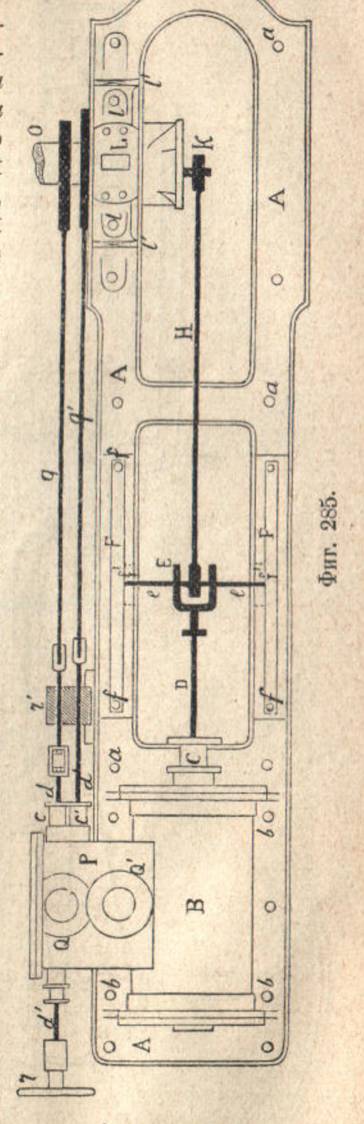
Паръ изъ котла проводится трубкою v въ распредѣлительную коробку T, въ которой скользитъ вверхъ и внизъ *цилиндрическій* (пустотѣлый) *золотникъ*, приводимый въ движеніе круглымъ эксцентрикомъ при помощи ломаннаго рычага, сочлененнаго однимъ концемъ со штокомъ золотника, а другимъ— съ тягою эксцентрика. Золотникъ имѣетъ видъ трубки, плотно прикасающейся расширенными концами своими къ стѣнкамъ цилиндрической золотниковой коробки. Внутренній каналъ золотника постоянно сообщенъ съ холодильникомъ и служитъ для выпуска мятаго пара изъ верхней части ци-

линдра Рабочій паръ, окружая постоянно золотникъ, производитъ на него давленія, которыя взаимноуравновѣшиваются: золотникъ скользитъ почти безъ тренія. Существенный недостатокъ этого золотника заключается въ томъ, что, будучи постоянно сообщенъ съ холодильникомъ, онъ служитъ причиною охлажденія пара, наполняющаго распредѣлительную коробку. При положеніи золотника, представленномъ на чертежѣ, рабочій паръ входитъ въ верхнюю часть пароваго цилиндра и движетъ поршень I внизъ, причемъ мятый паръ изъ нижней части цилиндра поступаетъ по короткой соединительной трубѣ въ холодильникъ H. Когда поршень дойдетъ до нижней мертвой точки, золотникъ передвинется въ свое нижнее положеніе и сообщитъ нижнюю часть цилиндра съ распредѣлительною коробкою, а верхнюю съ холодильникомъ: поршень начинаетъ обратное движеніе къ верхней мертвой точкѣ. Штокъ поршня пропущенъ черезъ сальникъ, сдѣланный въ верхней крышкѣ цилиндра. Прямолинейное качательное движеніе поршня преобразуется при посредствѣ параллелограмма ABCD, коромысла CC′, шатуна G и мотыля M, въ круговое непрерывное движеніе главнаго вала, на которомъ посаженъ маховикъ. Безконечный ремень с передаетъ вращеніе, при посредствѣ пары коническихъ колесъ p отъ главнаго вала веретину регулятора Z, муфта котораго соединена при помощи системы рычаговъ съ поворотнымъ клапаномъ, установленнымъ близъ золотниковой коробки въ паропроводной трубѣ v. Холодильникъ H помѣщенъ внутри бака, наполненнаго водою, которая накачивается въ него *насосомъ холодной воды* U. E есть *воздушный насосъ*, выкачивающій продукты охлажденія въ небольшой резервуаръ R′, откуда теплая вода забирается *питательнымъ насосомъ* W, вгоняющимъ ее въ паровой котелъ. Поршень P воздушнаго насоса получаетъ движеніе отъ тяги A, подвѣшенной къ параллелограмму, а ныряла насосовъ питательнаго и холодной воды — отъ тягъ x,y, подвѣшенныхъ непосредственно къ коромыслу.

306. Горизонтальныя одноцилиндровыя машины. Это самая распространенная система. Существенный недостатокъ ея состоитъ въ неравномѣрномъ истираніи пароваго цилиндра: наибольшее изнашиваніе приходится на нижнюю часть, вліяніемъ вѣса поршня; поэтому въ большихъ машинахъ для устраненія этого недостатка пропускаютъ поршневой штокъ (D, фиг. 298) черезъ два сальника, сдѣланные въ обѣихъ крышкахъ цилиндра, при чемъ холостой конецъ штока долженъ быть закрытъ футляромъ (U—мѣдная трубка). Что касается *устройства станины*, то различаютъ станины *двубалочной* (фиг. 285) и *однобалочной* (*штыковой*, *американской* или *Корлисса*, фиг. 287 и 288) системы.

На фиг. 285 представлена (въ планѣ) *горизонтальная одноцилиндровая паровая машина безъ охлажденія съ мейеровскимъ золотникомъ и двубалочной станиною.* A есть *двубалочная станина U—образной формы*, укрѣпленная на фундаментѣ посредствомъ длинныхъ фундаментныхъ болтовъ *a*; B—*паровой цилиндръ*, привинченный къ рамѣ A болтами b; C — *сальникъ пароваго цилиндра*, c — *сальникъ расширительныхъ пластинокъ* Мейера, c′—*сальникъ распредѣлительныхъ золотниковъ*; D—*штокъ пароваго поршня*, d—*штокъ расширительныхъ пластинокъ*, d′ — *распредѣлительнаго золотника*; E—*крейцкопфъ* или крестовина, e—*поперечина крейцкопфа*, несущая на концахъ своихъ ползуны; F—*чугунныя параллели*, привин-

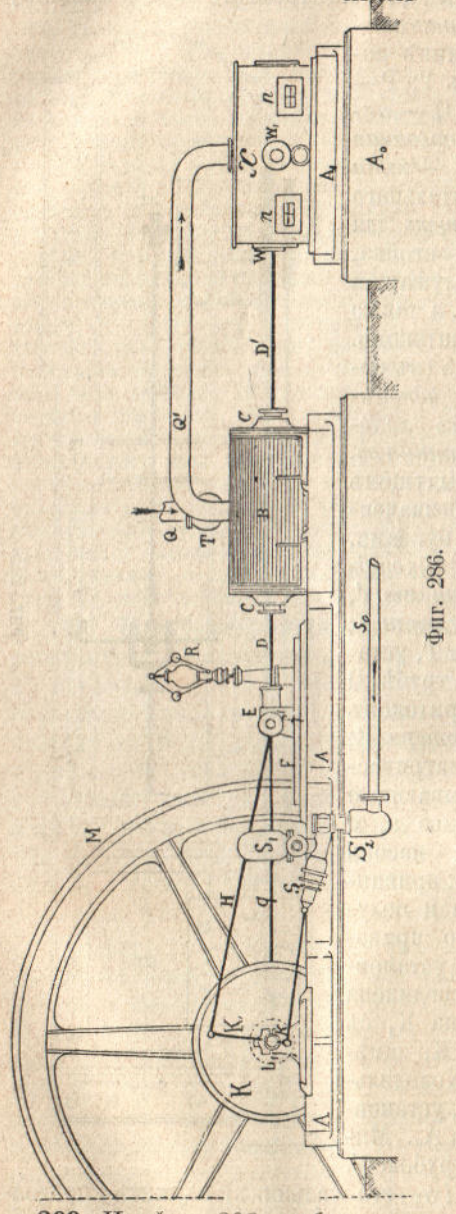
ченныя къ станинѣ болтами f;f' — *чугунные же ползуны*; H — *шатунъ*; K — *кривошипъ*, заклиненный на концѣ главнаго вала O машины, несущаго маховикъ; L — *подшипникъ главнаго вала*, укрѣпленный на станинѣ посредствомъ болтовъ l и клиньевъ l'; P — *распредѣлительная коробка*; Q — *пароприводная труба*; Q' — *пароотводная* (для мятаго пара) *труба*; q,q' — *тяги* расширительнаго и распредѣлительнаго *золотниковъ* Мейера; r — *маховичекъ* для ручной установки отсѣчки; r' — стойка, привинченная къ станинѣ и служащая для укрѣпленія оси регулятора, а также для направленія золотниковыхъ штоковъ.



Фиг. 285.

307. На фиг. 286 изображена (въ боковомъ видѣ) *горизонтальная одноцилиндровая паровая машина съ холодильникомъ и двубалочной станиною*. Сверхъ указанныхъ на предыдущемъ чертежѣ главныхъ частей, обозначенныхъ на 287 фиг. тѣми же буквами, здѣсь видны еще слѣдующія: *крейцкопфъ* E съ однимъ нижнимъ *ползуномъ* f', скользящимъ *по одиночной параллели* F; *маховикъ* M; *створный клапанъ* T, установленный въ паропроводной трубѣ Q и служащій для управленія притокомъ свѣжаго пара; *регуляторъ Портера* R; *питательный* (для котла разсматриваемой машины) *насосъ* S со всасывающею трубою s_0, клапанною коробкою s_2 и воздушнымъ колоколомъ s_1; насосъ этотъ, какъ видно изъ чертежа, привинченъ къ главной рамѣ машины и получаетъ движеніе отъ маленькаго кривошипа k', короткая ось коего установлена въ подшипничкѣ L_1 и соединена при помощи контръ-кривошипа K_1 съ удлиненною пуговкою шейбы K, замѣняющей главный кривошипъ. Холодильникъ X укрѣпленъ къ рамѣ A_1, установленной на особомъ фундаментѣ A_0. Мятый паръ поступаетъ въ него трубою Q'. Штокъ D' воздушнаго насоса (w — его сальникъ) служитъ продолженіемъ штока D паровokу поршня; продукты охлажденія уда-

ляются изъ холодильника трубою w_1; n,n—суть окна, герметически закрытыя крышками и служащія для осмотра клапановъ воздушнаго насоса и очистки холодильника отъ осадковъ.

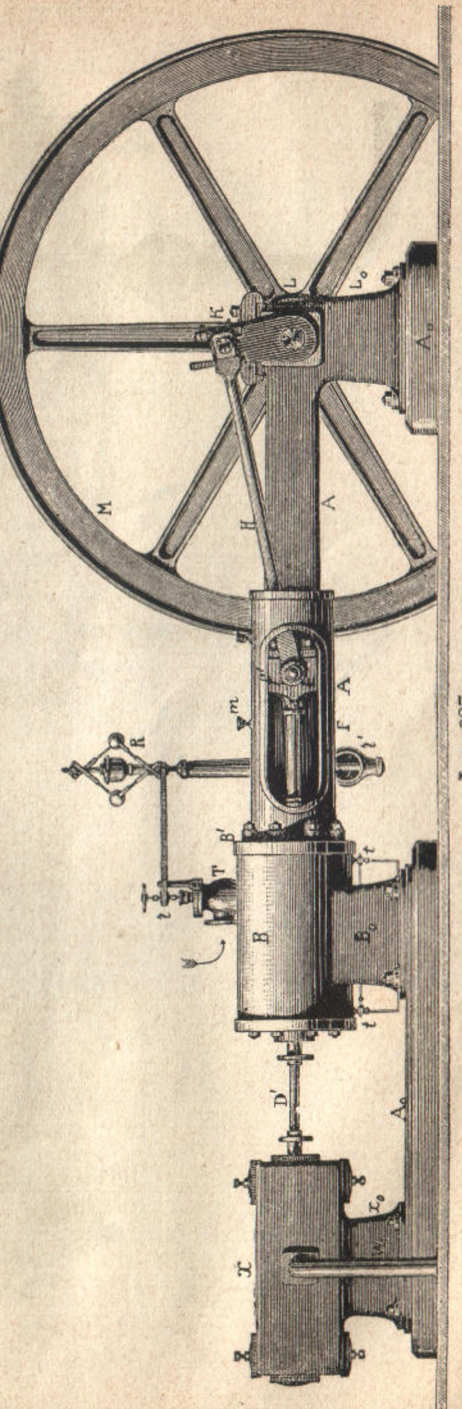

Фиг. 286.

308. Фиг. 287 представляетъ *одноцилиндровую паровую машину съ холодильникомъ и однобалочной станиной (Корлисса)*. Паровой цилиндръ B и холодильникъ укрѣплены на общей фундаментной рамѣ A_0. Передняя крышка B′ цилиндра, параллели F и подшипникъ LL_0 отлиты заодно, въ видѣ пустотѣлой балки AA, напоминающей своею формою *штыкъ* (отсюда названіе *штыковая* или *баіонетная* балка). Въ планѣ подобная балка видна на фиг. 298. Часть FA этой балки имѣетъ цилиндрическую форму (фиг. 83), тщательно разсверливается и служитъ параллелями для выпуклыхъ ползуновъ f′ крестовины E. Подобная форма станины и па раллелей, изобрѣтенная *Корлиссомъ*, благодаря своей компактности и легкости обработки (§ 71), получила преобладающее распространеніе. Псевдоастатическій регуляторъ (по системѣ Портера) R регулируетъ торможеніемъ пара, дѣйствуя при помощи рычага r на створный клапанъ T (уравновѣшенный—системы Зульцера, фиг.269). Наконецъ, на чертежѣ видны: *маслянка* m для параллелей и *продувательные краны* t.

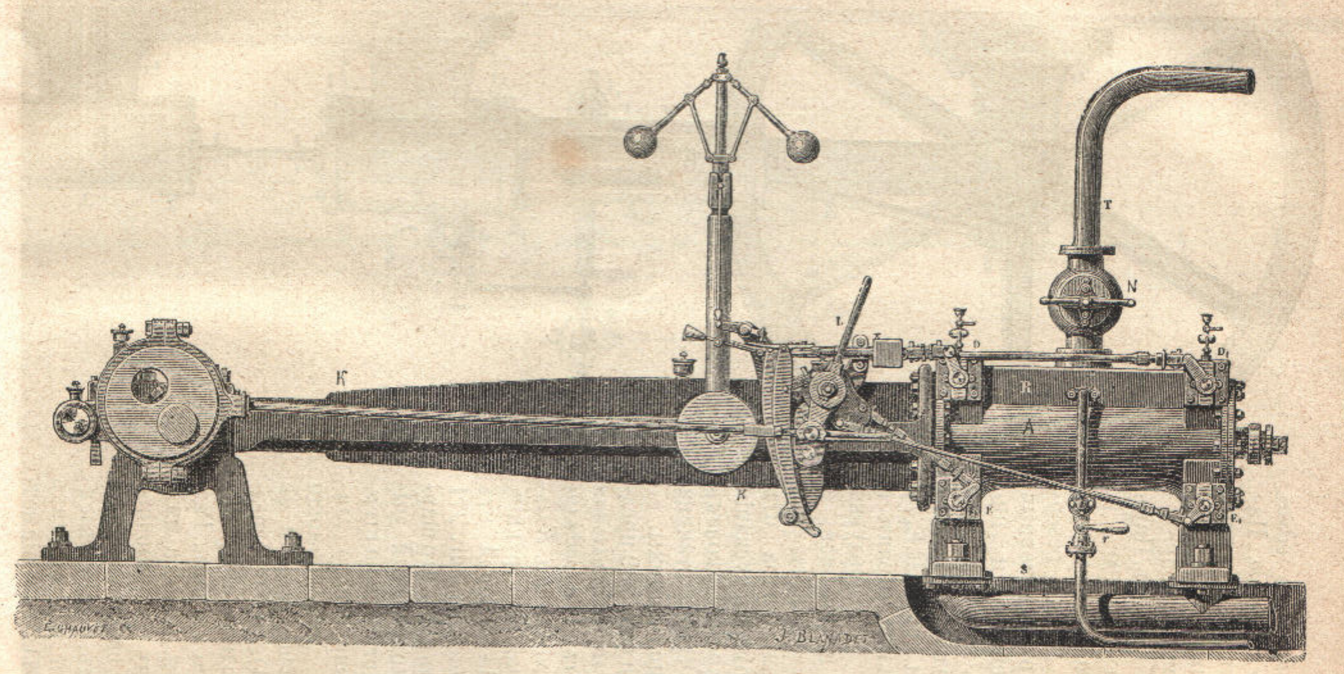
309. На фиг. 288 изображена *машина Корлисса* (§ 292) *безъ*

холодильника и съ однобалочной станиною. Паровой цилиндръ A отлитъ заодно съ паровою рубашкою и сѣдлами распредѣлительныхъ крановъ. Паръ приводится трубою T, снабженною створнымъ клапаномъ N, въ резервуаръ R, расположенный въ верхней части цилиндра, съ которымъ онъ отлитъ заодно; D,D_1 суть паровпускн. краны; E,E_1— паровыпускные. Кранъ r назначенъ для продувки цилиндра и рубашки, а рычагъ L служитъ для распредѣленія пара отъ руки въ моментъ пусканія маш. въ ходъ. Наконецъ k,k есть чугун. станина однобалочной системы.

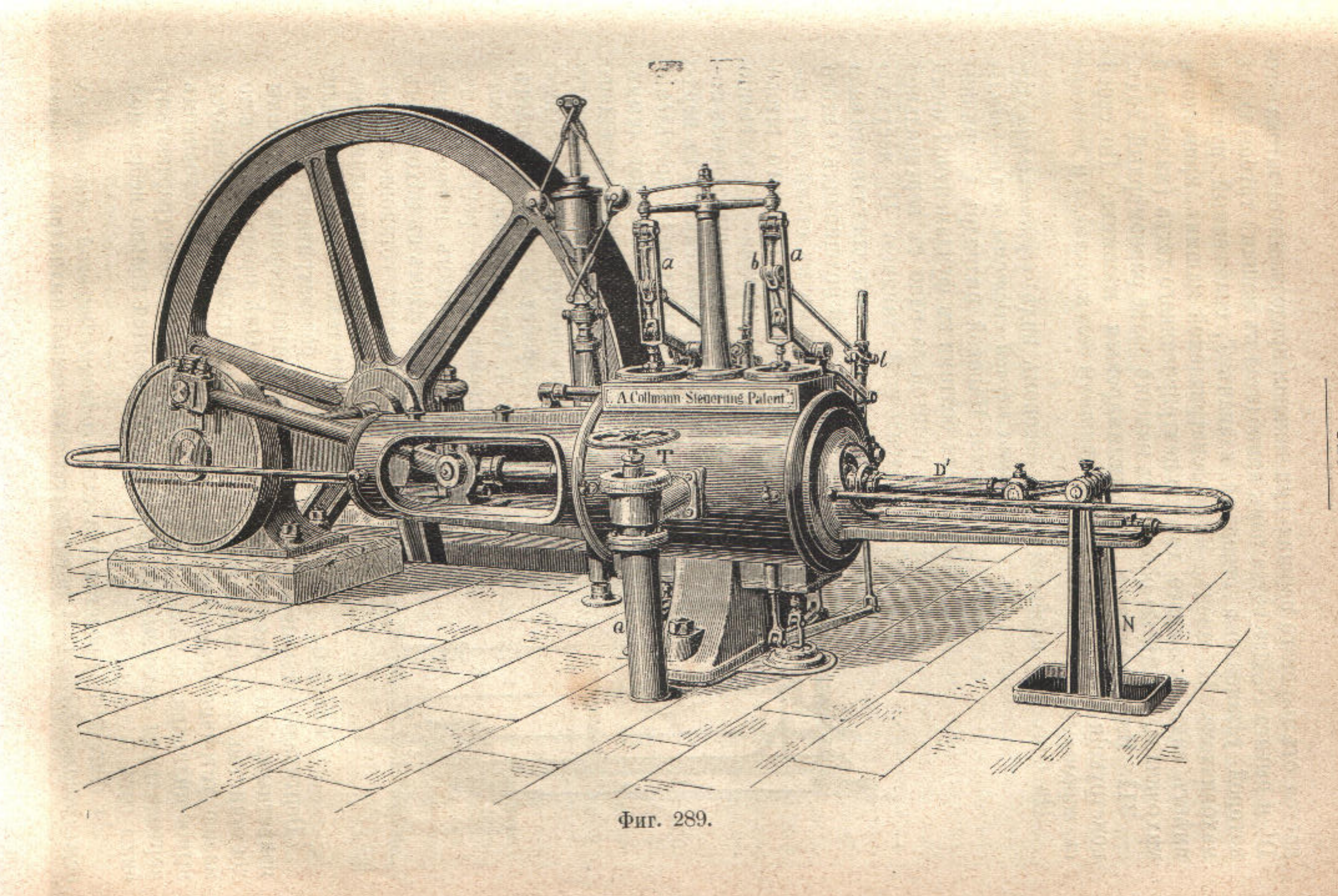
310. На фиг. 289 представлена *горизонтальная машина съ распредѣлительнымъ механизм. Кольмана* старой конструкціи, все отличіе которой отъ изображенной на фиг. 271 состоитъ въ томъ, что шарнирный колѣнчатый рычагъ b дѣйствуетъ на стержень паровпускнаго клапана не при помощи контръ-рычаговъ it и gh (фиг. 271), а непосредственно поднимаетъ рамку *a*, ведущую клапанъ. Разсматриваем. машина имѣетъ станину однобалочной системы и снабжена холодильникомъ, установленнымъ подъ поломъ (какъ на фиг. 297). Движеніе воздушному насосу пере-



Фиг. 287.



Фиг. 288.

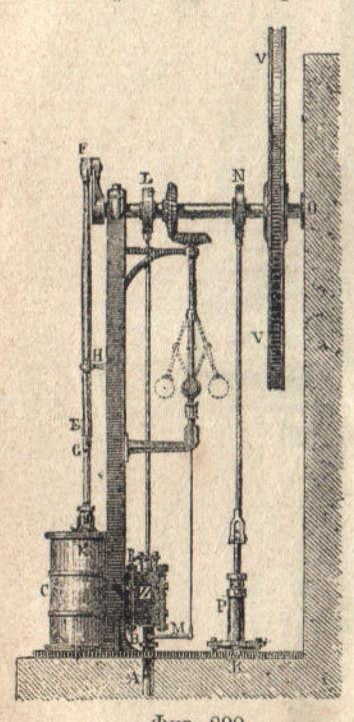


Фиг. 289.

дается отъ пароваго поршня при помощи продолженнаго штока его D′ и рычага N. Изъ котла паръ приводится къ машинѣ трубою Q, въ которой установленъ створный клапанъ T, снабженный ручнымъ маховичкомъ. Наконецъ, въ разсматриваемой машинѣ кривошипъ имѣетъ видъ сплошнаго, хорошо центрированнаго диска (маленькаго маховичка), съ цѣлью обезпечить машинѣ болѣе равномѣрный ходъ.

311. Вертикальныя одноцилиндровыя машины. По своей конструкціи онѣ раздѣляются на *машины безъ коромысла* и *машины съ коромысломъ*.

На фиг. 290 изображена въ боковомъ видѣ *вертикальная машина первой системы безъ холодильника*. Паровой цилиндръ C привинченъ болтами къ фундаментной доскѣ B, отлитой за одно съ вертикальной двубалочной станиною H, несущею вверху подшипникъ для главнаго вала машины; второй подшипникъ O этого вала установленъ въ стѣнѣ. Для направленія движенія пароваго штока служатъ два ползуна G, имѣющіе видъ втулокъ, скользящихъ вдоль колонокъ GH, привинченныхъ къ верхней крышкѣ цилиндра. Распредѣленіе пара производится обыкновеннымъ коробчатымъ золотникомъ, для движенія котораго на главномъ валу посаженъ эксцентрикъ L. Въ золотниковую коробку Z паръ вступаетъ по трубѣ A. Регулированіе хода машины производится регуляторомъ Уатта, управляющимъ поворотнымъ клапаномъ M. Рядомъ съ маховикомъ V на главномъ валу установленъ второй эксцентрикъ N, приводящій въ движеніе питательный насосъ P для паров. котла разсматриваем. машины.

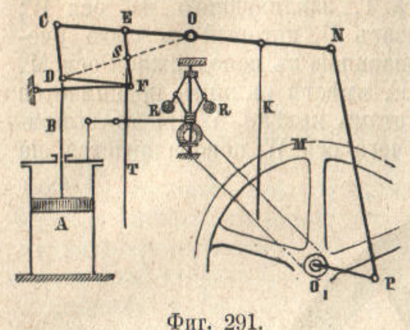


Фиг. 290

Вертикальныя машины безъ коромысла были впервые построены извѣстнымъ англ. заводчикомъ *Ферберномъ*. Онѣ представляютъ то достоинство, что занимаютъ мало мѣста (въ планѣ), но отличаются малою устойчивостью, вслѣдствіе расположенія вала съ маховикомъ выше цилиндра, а также трудностью установки и осмотра; поэтому вертикальныя машины безъ коромысла строятся только небольшой силы (отъ 5 до 25 п. л.).

На фиг. 291. представлена схема *одноцилиндровой машины съ коромысломъ*. Штокъ B поршня *вертикальнаго* цилиндра A сочле-

ненъ при помощи параллелограмма Уатта CDEF, съ концомъ C коромысла CN, другой конецъ котораго N соединенъ съ кривошипомъ PO_1 при помощи шатуна NP. Прямолинейное качательное движенiе поршня пріобразуется сначала въ круговое качательное движенiе коромысла, которое въ свою очередь преобразуется въ круговое непрерывное движенiе главнаго вала O_1, несущаго на себѣ маховикъ M. Движенiе золотнику сообщается отъ главнаго вала при помощи эксцентрика, тяга котораго соединена со стержнемъ золотника системою колѣнчатыхъ рычаговъ. Регулированiе хода машины производится поворотнымъ клапаномъ дѣйствiемъ регулятора Уатта R, получающаго движенiе отъ главнаго вала при помощи ременной передачи. Поршень воздушнаго насоса получаетъ движенiе отъ коромысла при помощи тяги T, подвѣшенной къ серединѣ S серьги EF параллелограмма, а поршень насоса холодной воды при помощи тяги K, подвѣшенной непосредственно къ коромыслу.



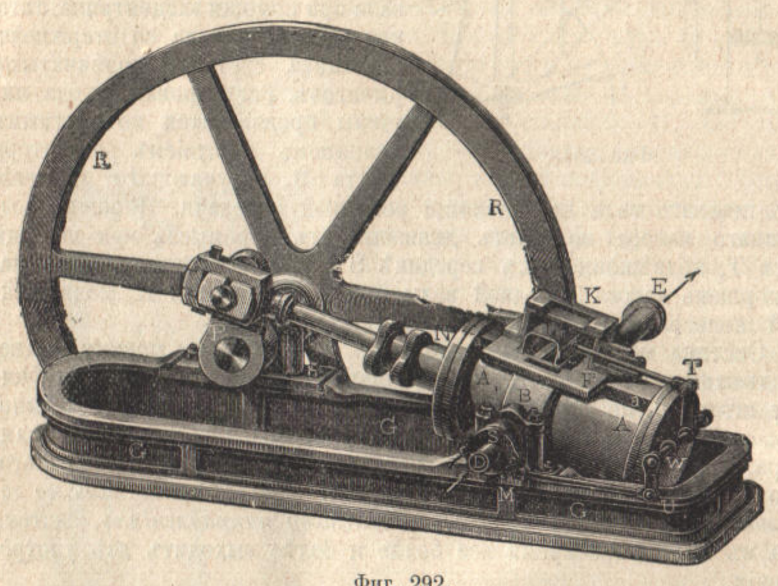
Фиг. 291.

Система машинъ съ коромысломъ представляетъ преимущество, заключающееся въ простотѣ передачи движенія произвольному числу штоковъ, но по причинѣ сравнительной *дороговизны*, *малаго числа оборотовъ*, какое допускаетъ употребленiе тяжелаго балансира, какъ главнаго элемента передачи, а также вслѣдствiе того, что машины съ коромысломъ требуютъ *много мѣста какъ по горизонтальному, такъ и по вертикальному направленiямъ*, система эта въ настоящее время все болѣе и болѣе выходитъ изъ употребленія.

312. Качающiяся машины. Качающiяся паровыя машины принадлежатъ къ числу *машинъ съ сокращенною передачею*: онѣ не имѣютъ *шатуна* и устраиваются съ цѣлью *сокращенiя длины* горизонтальныхъ и высоты вертикальныхъ машинъ.

На фиг. 292 представленъ общiй видъ *заводской качающейся машины Альбана.* Основанiемъ ея служитъ чугунная рама GG. Паровой цилиндръ A качается около двухъ цапфъ, которыми онъ опирается на подшипники B,B, укрѣпленные къ рамѣ G. Цапфы внутри пустыя и сообщены (при помощи сальниковъ S) съ трубами D и E, не участвующими въ движенiи цилиндра. Труба D ведетъ паръ изъ котла въ золотниковую коробку K, изъ которой паръ каналомъ a ведется въ правую часть цилиндра, а каналомъ a′—въ лѣвую; мятый паръ выходитъ изъ средняго канала трубкою E въ атмосферу. Штокъ O поршня сочлененъ непосредственно

съ кривошипомъ P. Качательное движеніе цилиндра преобразовывается въ прямолинейное качательное движеніе золотника L при помощи рычажнаго механизма TWUM, ось котораго W установлена въ подшипникахъ, прикрѣпленныхъ къ дну цилиндра. Штокъ золотника соединенъ съ концемъ рычага T, заклиненнаго на оси W; на концѣ той же оси посаженъ рычагъ U, который въ свою очередь сочлененъ съ тягою UM, укрѣпленною къ неподвижной оси M. При качаніи цилиндра около оси DE, вмѣстѣ съ нимъ поднимается и опускается и валъ W, а при этомъ колѣно WUM то выпрямляется, то сгибается, вслѣдствіе чего ось W поворачивается на



Фиг. 292.

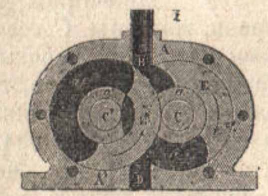
нѣкоторый уголъ то въ ту, то въ другую сторону; это колебательное движеніе вала W передается золотнику при помощи рычага T.

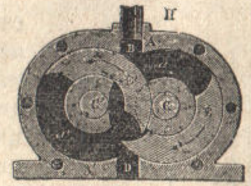
Главные недостатки этихъ машинъ заключаются въ нагрѣваніи цапфъ цилиндра, способствующемъ скорому ихъ изнашиванію, а также въ быстромъ изнашиваніи поршневыхъ сальниковъ, такъ какъ при ихъ посредствѣ вся масса цилиндра перебрасывается то въ ту, то въ другую сторону. Какъ постоянныя машины, онѣ строятся довольно рѣдко, но весьма употребительны какъ пароходныя машины (для колесныхъ рѣчныхъ и морскихъ пароходовъ).

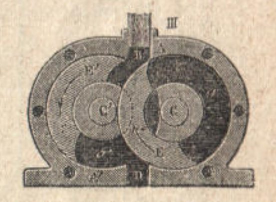
313. Коловратныя машины. Существенное отличіе *коловратныхъ* (вращательныхъ) машинъ отъ обыкновенныхъ заключается въ томъ, что поршень ихъ имѣетъ не прямолинейное качательное, а вращательное движеніе, которое передается непосредственно валу

маховика, безъ помощи балансира, шатуна и мотыля. Машины этой системы, изобрѣтенныя Уаттомъ въ 1782 г., отличаются простотою конструкціи, уютностью, устойчивостью и вмѣстѣ съ тѣмъ требуютъ незначительнаго ремонта и ухода. Онѣ примѣняются главнымъ образомъ для сообщенія движенія рабочимъ машинамъ, имѣющимъ вращательное движеніе и дѣлающимъ большое число оборотовъ, напр., центробѣжнымъ насосамъ, вентиляторомъ, динамо-машинамъ и т. п.

Наиболѣе распространенная вращательная машина америк. инженера *Беренса*, появившаяся впервые на парижской выставкѣ 1867 г., состоитъ изъ двухъ неполныхъ цилиндровъ A и A′ (фиг. 293), отлитыхъ заодно и тщательно расточенныхъ. Внутри этихъ цилиндровъ проходятъ двѣ параллельныя оси C и C′, къ которымъ укрѣплены кулаки E и E′, играющіе роль вращающихся поршней. Наружныя части этихъ кулаковъ тщательно пригнаны къ цилиндрамъ A и A′, а внутреннія—къ неподвижнымъ втулкамъ c и c′,



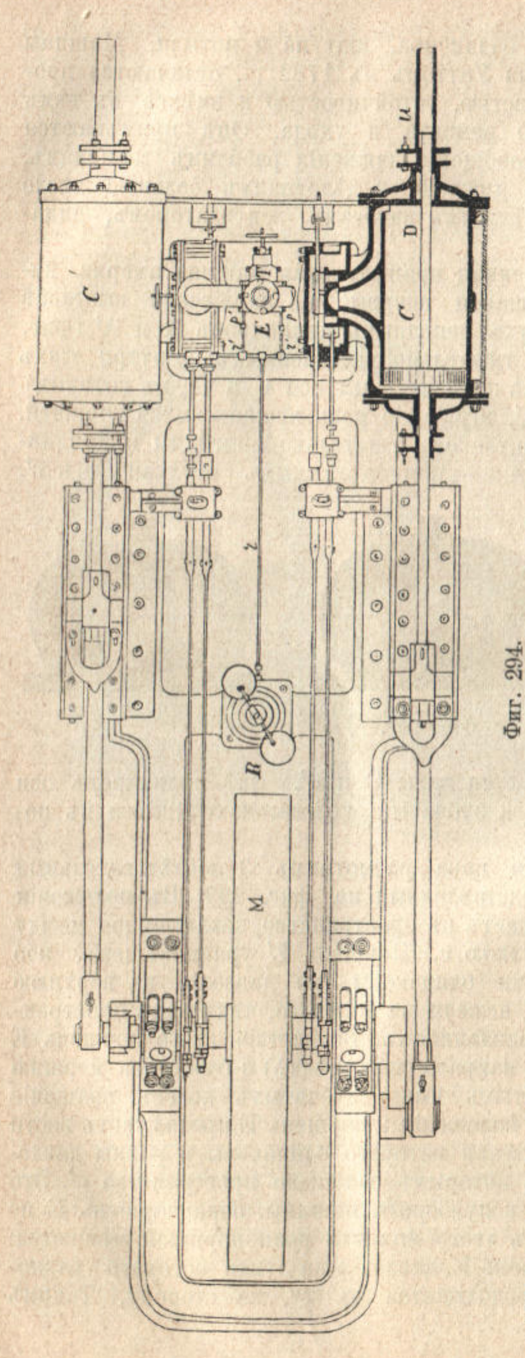




Фиг. 293.

внутри которыхъ вращаются валы C и C′. Внѣ цилиндровъ оси C и C′ несутъ на себѣ два зубчатыя колеса, находящіяся въ постоянномъ зацѣпленіи.

Для уясненія дѣйствія пара расмотримъ 3 послѣдовательныя положенія поршней, представленныя на фиг. 293. Въ положеніи 1 паръ по трубѣ B вступаетъ въ пространство, заключенное между поршнями E и E′ и втулкою c. Поршень E′ уравновѣшенъ, ибо давленія на обѣ его лунки одинаковы, но давленіе на верхнюю лунку поршня E больше, нежели на нижнюю, такъ какъ пространство *a* сообщено съ холодильникомъ. Вслѣдствіе этого поршень E начнетъ вращаться слѣва направо (по стрѣлкѣ) и сообщитъ поршню E′, при помощи упомянутыхъ выше зубчатыхъ колесъ, вращеніе въ обратную сторону. Въ положеніи 2 поршень E продолжаетъ вести поршень E′, давленія на лунки котораго одинаковы и равны давленію въ холодильникѣ, съ которымъ сообщено пространство *a*′. Это продолжается въ теченіе полуоборота машины, пока поршень E не займетъ положенія 3. Съ этого момента роли поршней мѣняются: E′ начинаетъ вести поршень E, давленія на лунки котораго уравновѣшены; но вращеніе продолжается въ ту же сторону. Такимъ



Фиг. 294.

образомъ, въ этой машинѣ нѣтъ ни расширенія [1]), ни сжатія пара. На концѣ одной изъ осей насаженъ шкивъ, отъ котораго вращеніе передается рабочимъ машинамъ.

Не смотря на замѣчательную простоту передачи, машины эти мало распространены въ практикѣ, по причинѣ трудности пригонки поршней и неустранимыхъ протековъ пара между валомъ и крышками цилиндровъ.

314. Сдвоенныя и строен. машины. *Сдвоенными* наз. такія паровыя машины, которыя имѣютъ два одинаковой величины цилиндра (C,C' фиг, 294), питающіеся каждый, независимо отъ другаго, свѣжимъ паромъ изъ котла. Такого рода машины устраиваются или съ цѣлью достиженія возможно болѣе *равномѣрнаго хода*, примѣняя *кратные кривошипы* (расположенные одинъ къ другому подъ угломъ 90°), при чемъ устраняются совершенно *мертвыя точки* машины, или съ цѣлью устраненія *маховика*, присуствіе котораго въ нѣкоторыхъ рабочихъ машинахъ, напр., *въ прокатныхъ станкахъ съ перемѣннымъ враще-*

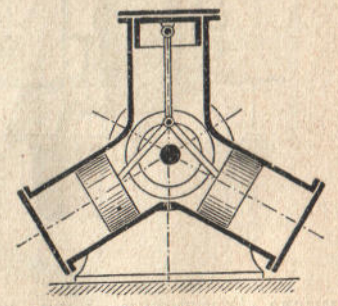
[1]) Расширеніе пара можетъ быть, впрочемъ, легко достигнуто при момощи клапана, установленнаго надлежащимъ образомъ.

ніемъ въ ту и другую сторону (*реверсивоой системы*), представляетъ большое неудобство. Преодолѣніе всѣхъ сопротивленій въ этомъ случаѣ совершается силою пара безъ содѣйствія живой силы машины. Каждый цилиндръ расчитывается на половинное число $\left(\frac{N}{2}\right)$ паровыхъ лошадей полезной работы.

Фиг. 294 представляетъ въ планѣ *сдвоенную* паровую машину съ общими *маховикомъ* M и *регуляторомъ* R. Оба цилиндра C,C' снабжены мейеровскими золотниками; паръ изъ котла поступаетъ по трубѣ E, въ которой установленъ *створный клапанъ* T и два *поворотныхъ клапана* p,p', на которые дѣйствуетъ регуляторъ при помощи тяги r и рычажковъ r'.

Сдвоенныя машины реверсивной системы (безъ маховика) имѣютъ примѣненіе при *передвижныхъ* машинахъ съ обратнымъ ходомъ: *локомотивахъ* и *пароходныхъ машинахъ*, и при *постоянныхъ: рудничныхъ* (для подъема изъ шахтъ руды и угля), *паровыхъ кранахъ*, *паровыхъ воротахъ* и *прокатныхъ реверсивныхъ станкахъ*.

Изъ *строенныхъ машинъ* наибольшее распространеніе (при паровыхъ кранахъ, воротахъ, динамомашинахъ) имѣетъ машина *Бротергуда*, въ которой цилиндры расположены одинъ къ другому подъ угломъ въ 120° (фиг. 295), а штоки поршней сочленены съ общимъ кривошипомъ безъ посредства шатуновъ; съ самимъ же поршнемъ штоки соединены при помощи шарнировъ. Распредѣленіе пара производится посредствомъ дискообразнаго золотника, который легко можетъ быть переставленъ *на обратный ходъ* простымъ поворачиваніемъ его на нѣкоторый уголъ.

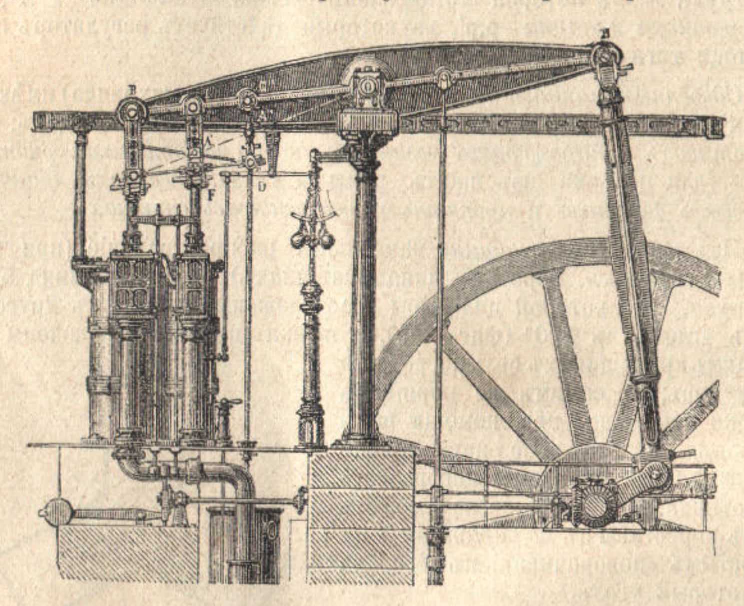


Фиг. 295.

Машина *Бротергуда* принадлежитъ къ числу *скороходящихъ* м., нормальное число оборотовъ коихъ отъ 350—400 въ мин. и можетъ доходить до 1200. Въ обыкновенныхъ машинахъ, въ видахъ продолжительности службы ихъ, число оборотовъ не должно быть болѣе 80—100 въ мин.; при большемъ числѣ оборотовъ части машины скоро расхлябаются, по причинѣ непрерывныхъ толчковъ въ сочлененіяхъ (головкахъ шатуна, подшипникахъ), происходящихъ вслѣдствіе діаметрально противоположныхъ давленій, проявляющихся въ теченіе одного оборота кривошипа; машина требуетъ частаго ремонта, какъ напр. локомотивныя машины, дѣлающія 100—150 оборотовъ въ мин. Для избѣжанія перемѣнныхъ (діаметрально противоположныхъ) давленій въ шарнирахъ въ строенной машинѣ

Бротергуда всѣ цилиндры *простаго дѣйствія*, т. е. свѣжій паръ впускается только съ одной стороны.

315. Вертикальная машина Вульфа (фиг. 296). Оба цилиндра имѣютъ отдѣльные золотники, стержни коихъ соединены общею поперечиною, получающею движеніе отъ эксцентрика при посредствѣ промежуточной системы рычаговъ. Регуляторъ управляетъ поворотнымъ клапаномъ. Штокъ поршня большаго цилиндра сочлененъ съ вершиною A параллелограмма, а штоки поршней малаго цилиндра и воздушнаго насоса подвѣшены въ точкахъ A′ и A″ линіи AO, соединяющей вершину A съ центромъ вращенія коромысла.

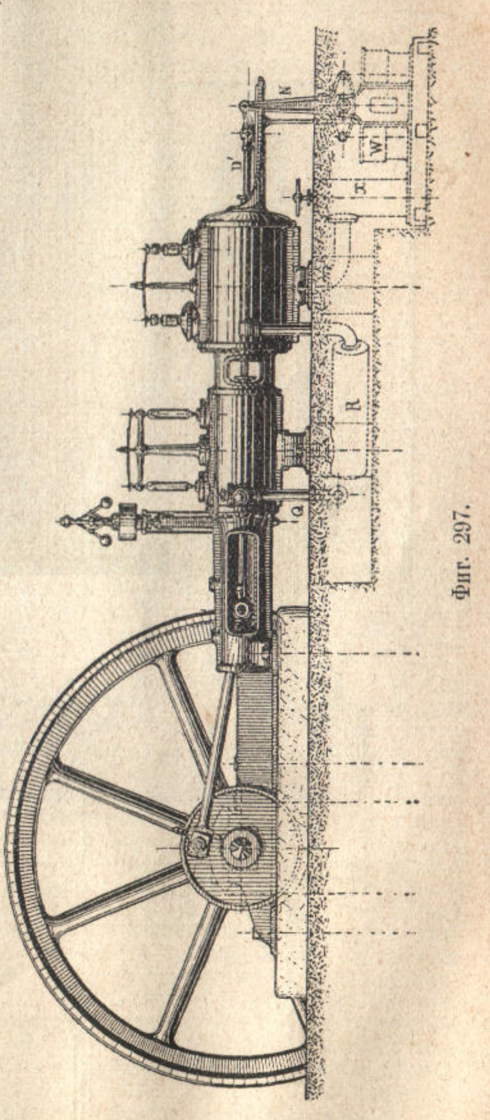


Фиг. 296.

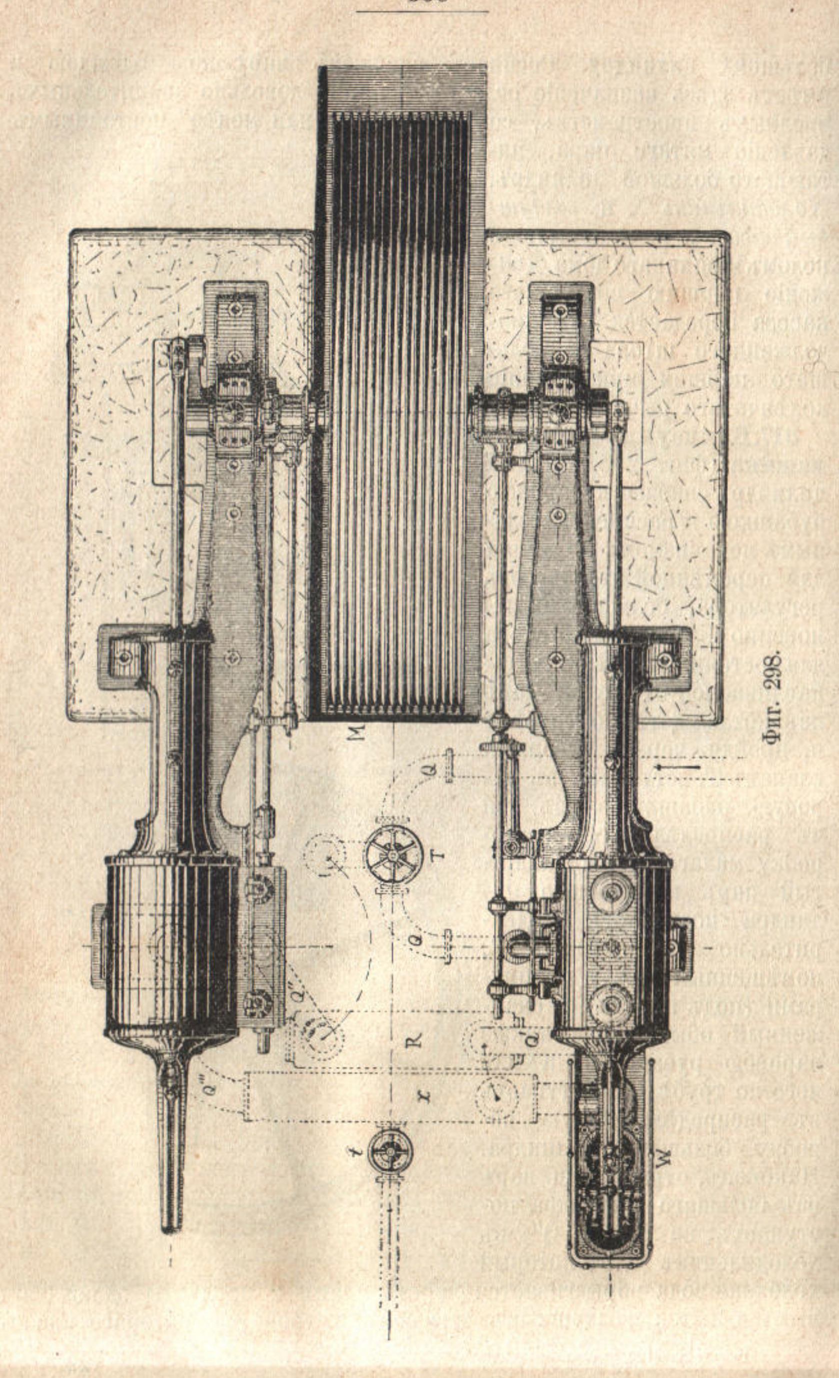
мысла. Эти точки, какъ извѣстно, имѣютъ, подобно вершинѣ A, почти строго вертикальное движеніе.

316. Горизонтальная машина Вульфа (фиг. 297). Цилиндры расположены одинъ за другимъ; штокъ общій. Малый цилиндръ снабженъ паровою рубашкою и сверхъ того наружною одеждою; подобную же обшивку имѣетъ и большой цилиндръ. Распредѣлительный механизмъ у обоихъ цилиндровъ клапанный, но перемѣнная отсѣчка (системы Кольмана) устроена только при маломъ цилиндрѣ. Машина снабжена *ресиверомъ* R, составляющимъ собственно необходимую принадлежность *компаундъ-машинъ* (съ кривошипами подъ угломъ 90°). Мятый паръ изъ малаго цилиндра поступаетъ предварительно въ ресиверъ R, изъ котораго уже идетъ къ

большому цилиндру. Ресиверъ снабженъ наружною одеждою и имѣетъ здѣсь назначеніе ослабить вліяніе довольно значительныхъ вредныхъ пространствъ, сохраняя болѣе или менѣе постояннымъ давленіе мятаго пара, питающаго большой цилиндръ. *Холодильникъ* X и *воздушный насосъ* W помѣщены подъ поломъ машиннаго дома. Движеніе поршню воздушнаго насоса передается отъ продолженнаго штока D′ большаго поршня при помощи колѣнчатаго рычага N.



317. Компаундъ-ресиверъ машина (фиг. 298). Малый цилиндръ снабженъ паровою рубашкою и распредѣлительнымъ механизмомъ *Кольмана* для перемѣнной отсѣчки отъ регулятора, большой обыкновенно золотникомъ Мейера для постоянной отсѣчки, устанавливаемой отъ руки. Паръ изъ котла идетъ по трубѣ Q и, пройдя черезъ створный клапанъ T, вступаетъ въ паровую рубашку, а изъ нея въ распредѣлительную коробку малаго цилиндра. Мятый паръ изъ малаго цилиндра поступаетъ предварительно въ ресиверъ R, помѣщенный между цилиндрами (подъ поломъ) и снабженный обыкновенно также паровою рубашкою, а изъ него по трубѣ Q″ вступаетъ въ распредѣлительную коробку большаго цилиндра. Наконецъ, отработавш. паръ изъ большаго цилиндра поступаетъ по трубѣ Q″ въ холодильникъ X, въ который холодная вода вбрызгивается черезъ кранъ t; продукты охлажденія выкачиваются воздушнымъ насосомъ, устройство котораго анало-



Фиг. 298.

гично съ представленнымъ на фиг. 297. Особенность разсматриваемой машины составляетъ маховикъ M, приспособленный для канатной передачи (§ 27) работы различнымъ горизонтальнымъ валамъ. Подобная передача распространяется въ послѣднее время все болѣе и болѣе и имѣетъ цѣлью избѣжать промежуточной передачи посредствомъ ремней и коническихъ колесъ, чѣмъ достигается болѣе спокойный ходъ машины и лучшая утилизація работы.

318. Управленіе и уходъ за паровою машиною. 1) *Монтировка. Сборка машины* (монтировка) на назначенномъ мѣстѣ начинается съ устройства фундамента, который кладется или изъ кирпича (на цементѣ) или изъ тесаннаго камня. На этомъ фундаментѣ устанавливается (по ватерпасу) основная фундаментная рама машины и укрѣпляется на немъ посредствомъ длинныхъ фундаментныхъ болтовъ. Затѣмъ, когда фундаментъ достаточно просохнетъ, приступаютъ къ сборкѣ частей машины, начиная съ неподвижныхъ частей (цилиндра, параллелей, подшипниковъ), прикрѣпляя ихъ болтами къ соотвѣтственнымъ мѣстамъ фундаментной рамы.

2) *Подготовка машины къ работѣ.* Передъ началомъ дѣйствія машины производится тщательный осмотръ всѣхъ частей ея съ цѣлью убѣдиться, все-ли въ порядкѣ: крѣпко ли сидятъ *клинья* (головокъ шатуна, штока, крейцкопфа...), завинчены ли *гайки* (подшипниковъ, сальниковъ, крышекъ...), вѣрно ли установленъ *золотникъ* и т. п. Трущіяся части должны быть всѣ смазаны, маслянки наполнены масломъ (деревяннымъ, костянымъ или въ смѣси съ минеральнымъ масломъ). Затѣмъ открываютъ мало по малу *створный клапанъ у котла* съ цѣлью *прогрѣть паропроводъ*, послѣ чего открываютъ немного створный клапанъ и *продувательные краны* цилиндра для прогрѣва цилиндра и удаленія изъ него конденсаціонной воды. Если машина съ *холодильникомъ*, то должно продуть и этотъ послѣдній, пропуская паръ черезъ него, съ цѣлью образованія надлежащаго вакуума. Когда цилиндръ достаточно уже прогрѣтъ открываютъ болѣе и болѣе створный клапанъ, соотвѣтственно нормальному числу оборотовъ, а также взбрызгивающій кранъ, но остальные краны запираютъ Машина пойдетъ, если кривошипъ остановился при предыдущей забастовкѣ не очень близко къ мертвой точкѣ; въ противномъ случаѣ, закрывъ паровой клапанъ (во избѣжаніе несчастія) должно предварительно поставить кривошипъ *на взмахъ* (*на подъемъ*), соотвѣтственно $^1/_4$ или $^1/_3$ хода поршня, для чего должно повернуть нѣсколько маховикъ.

3) *Машина на ходу.* Во время дѣйствія машины главная забота машиниста состоитъ въ наблюденіи *за равномѣрностью ея хода.* Опытный машинистъ тотчасъ замѣтитъ пошла ли его машина скорѣе или тише. Измѣненіе скорости машины можетъ быть достигнуто: 1) измѣненіемъ степени расширенія и 2) открываніемъ и закрываніемъ *поворотнаго* клапана (*торможеніемъ* пара). Если эти измѣненія производятся автоматически регуляторомъ — тѣмъ лучше. Въ противномъ случаѣ машинистъ производитъ ихъ отъ руки. Если какая либо трущаяся часть сильно *нагрѣется — загорится* (напр. цапфы, шейки, подшипники, вслѣдствіе недостаточной смазки или вслѣдствіе того, что крышечные болты или клинья сильно стянуты), то должно *охладить нагрѣвшіяся части водою* и возобновить смазку или отпустить немного гайки или клинья, во избѣжаніе поломокъ и порчи. При переходѣ поршня черезъ *мертвыя точки* часто слышатся *удары*, причина которыхъ кроется въ *хлябаньи* нѣкоторыхъ частей: подшипника главнаго вала, головокъ штока и шатуна, поршня, частей распредѣлительнаго механизма и т. п., а также вслѣдствіе скопленія воды въ цилиндрѣ. Всѣ эти причины ударовъ должны быть немедленно устранены. *Неплотность поршня* или *золотника*, влекущая за собою усиленный *расходъ пара* при меньшей

полезной работѣ указывается нагрѣваніемъ холодильника. Должно очистить кольца поршня и золотникъ отъ грязи (если въ этомъ причина неплотности) или же исправить пружины поршня и прискоблить золотникъ. Причиною значительнаго *повышенія давленія въ холодильникѣ*, указываемаго вакуметромъ, служитъ или скопившійся паръ или воздухъ, пробравшійся черезъ флянцы и стыки. Паръ скопляется или вслѣдствіе недостатка холодной воды, или вслѣдствіе неплотности поршня; недостатокъ же воды можетъ произойти вслѣдствіе загрязненія водопроводной трубы или вбрызгивающаго крана. Всѣ эти недостатки должны быть тотчасъ устранены, причемъ должно на время остановить холодильникъ, а мятый паръ направить въ атмосферу при помощи особаго клапана, находящагося при холодильникѣ).

4) *Остановка машины.* Машину приходится останавливать не только при забастовкѣ, но и въ случаѣ какой либо порчи (спада ремня, поломки трансмиссіи). Отсюда видно что машина не должна оставаться безъ присмотра ни на минуту во время хода. Чтобы остановить машину, осторожно закрываютъ паровой клапанъ, постепенно замедляя ходъ машины и стараясь совершенно прикрыть его въ тотъ моментъ, когда кривошипъ станетъ на взмахѣ.

II. ПЕРЕДВИЖНЫЯ МАШИНЫ.

319. Паровозы [1]). Подъ именемъ *паровози (локомотива)* разумѣютъ *сдвоенную* реверсивную *машину высокаго давленія*, установленную вмѣстѣ съ котломъ на колесный ходъ и служащую для передвиженія поѣзда по желѣзнымъ дорогамъ. Въ каждомъ паровозѣ надо различать слѣдующія *три главныя части:*

1) *котелъ съ его арматурою и гарнитурою;* 2) *паровую машину* и 3) *экипажную часть*, состоящую изъ рамы, на которой установленъ паровозный котелъ и укрѣплены части машины и посредствомъ которой вѣсъ паровоза распредѣляется (при помощи рессоръ) на всѣ его оси.

На фиг. 299—302 представленъ *товарный шестиколесный паровозъ* въ *продольномъ разрѣзѣ, боковомъ видѣ* и въ четырехъ *поперечныхъ* разрѣзахъ: *черезъ огневую коробку* (фиг. 301—лѣвый чертежъ), *черезъ заднюю ось* (фиг. 301), *черезъ паровой куполъ и пе-*

[1]) Первыя попытки примѣненія паровой машины къ устройству паровозовъ были сдѣланы *Кюньо* въ Парижѣ (1765 г.), *Оливеромъ Эвансомъ* въ Филадельфіи (1804 г.) и *Рич. Тревитикомъ* въ Англіи (1804 г.), но ни одна изъ нихъ не дала удовлетворительныхъ результатовъ. Главнѣйшее затрудненіе заключалось въ недостаточной паропроизводительной способности котловъ, которые были обыкновенной системы (корнуэльской). Тотъ же недостатокъ представляетъ паровозъ, построенный *Георгомъ Стифенсономъ* въ 1815 г.: улучшенія, сдѣланныя имъ, касались движущаго и передаточнаго механизмовъ. Дѣло построенія паровозовъ получило сильный толчокъ со времени изобрѣтенія *Маркомъ Сегеномъ* (1827 г.) трубчатыхъ котловъ. Локомотивъ, построенный въ 1829 г. *Робертомъ Стифенсономъ* (сыномъ) на премію Ливерпульско-Манчестерской ж. дороги, представлялъ уже два важнѣйшихъ нововведенія: трубчатый котелъ и искусственную тягу мятымъ паромъ. Въ главныхъ частяхъ этотъ паровозъ остается безъ измѣненія и до настоящаго времени. Кулисса была изобрѣтена Стифенсономъ въ 1842 г.

реднюю ось (фиг. 302--лѣвый чертежъ) и *черезъ паровой цилиндръ* (фиг. 302). Фиг. 303 представляетъ видъ задней стѣнки наружной огневой коробки съ площадки машиниста.

320. Паровозный котелъ. Паровозные котлы—всегда трубчатой системы (§ 236) высокаго давленія (отъ 8 до 12 атм.). У насъ топливомъ служатъ: 1) *дрова;* 2) *каменный уголь*; 3) *антрацитъ* (на югѣ Россіи) и 4) *нефть* (вѣрнѣе *нефтяные остатки*) — пока еще въ видѣ рѣдкихъ исключеній; сожигается она либо на желобчатыхъ (ступенчатыхъ) колосникахъ *(Нобеля)*, либо при помощи форсунокъ (§ 218), почти безъ дыма и искръ. Можно принять: 1 фунтъ дровъ даетъ 3 ф. пара; 1 ф. кам. угля—5 до 7 ф. пара; 1 ф. антрацита—8 ф. пара и 1 ф. нефти—10 ф пара.

Паровозный котелъ заключаетъ въ себѣ слѣдующія части: 1) *огневую камеру;* 2) *цилиндрическую часть;* 3) *дымовую камеру* и 4) *арматуру съ гарнитурою.*

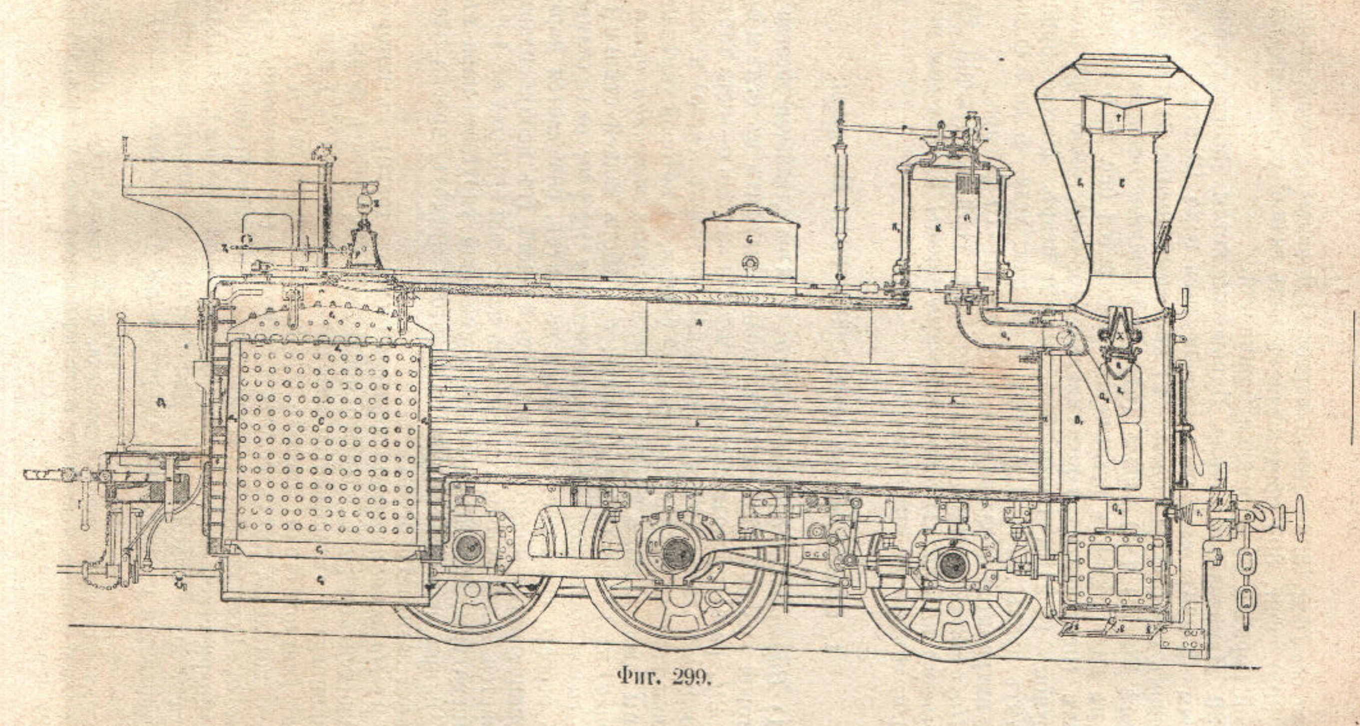
I. **Огневая камера** (фиг. 299 и 304). Ея части:

1) *Внутренняя огневая коробка* С. Она дѣлается всегда изъ листовой красной мѣди, которая дольше служитъ въ огнѣ и лучше (въ $2^1/_2$ раза) проводитъ теплоту, нежели желѣзо. *a*—есть такъ наз. *шинельный листъ* ($^5/_8{''}$), образующій потолокъ *(нёбо)* и боковыя стѣнки камеры; a_1—листъ передней стѣнки, въ которой укрѣпляются концы дымогарныхъ трубокъ, или такъ наз. *трубная доска (рѣшотка)* въ 1$''$ вверху и $^5/_8{''}$ внизу; a_2—листъ задней стѣнки ($^5/_8{''}$). *о — самоплавящаяся предохранительная пробка;* она отливается изъ особаго сплава, обтачивается на конусъ, снабжается нарѣзкою и ввинчивается прямо въ шинельный листъ (въ небо); сплавъ выбирается такой, чтобы температура плавленія его была на 10^0 выше температуры, соотвѣтствующей нормальной упругости пара въ котлѣ [1]): при переходѣ упругости за этотъ предѣлъ, пробка плавится и вода заливаетъ огонь.

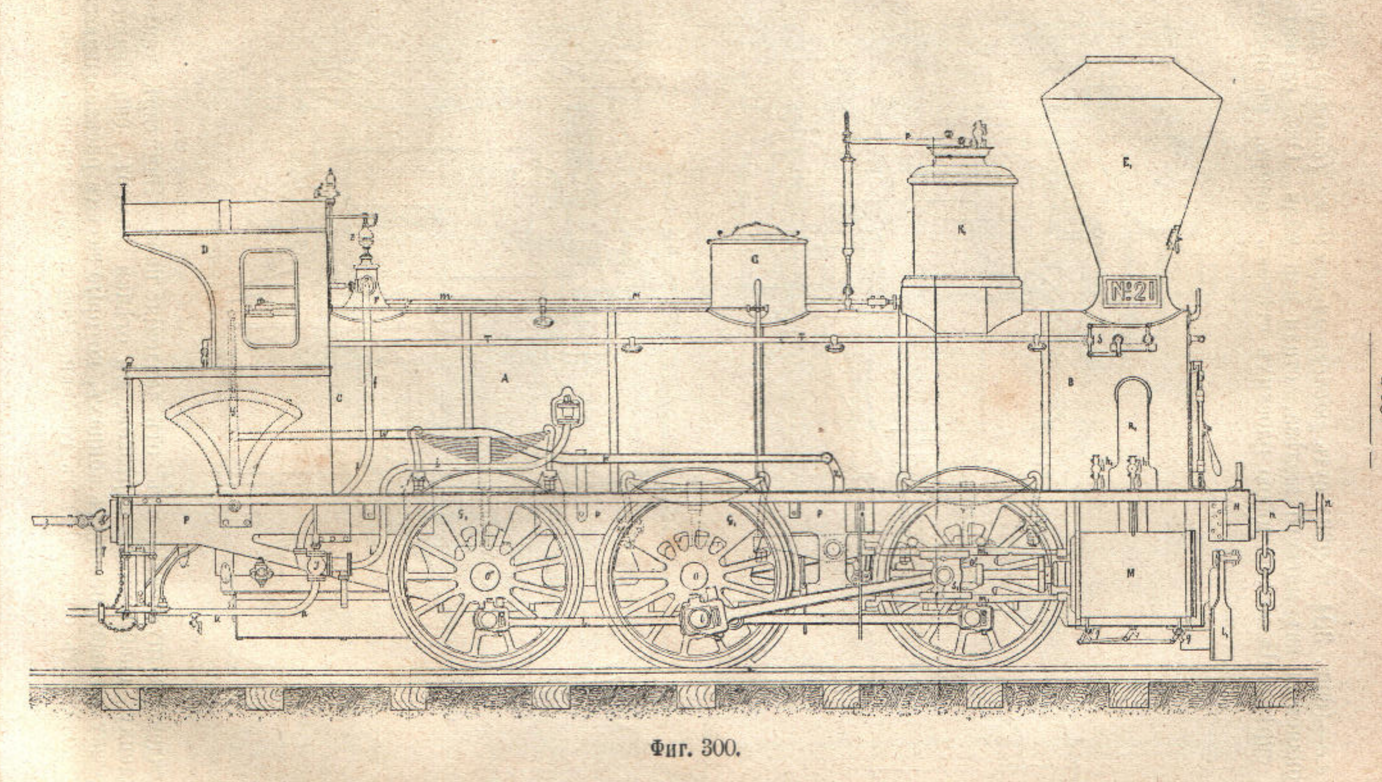
2) *Наружная огневая коробка* (кожухъ топки), въ которой помѣщается камера С; подобно послѣдней, она имѣетъ форму параллелепипеда и склепывается изъ пяти желѣзныхъ ($^5/_8{''}$) или *стальныхъ* (мягкой стали) листовъ ($^3/_8{''}$): *верхняго* листа ($^3/_4{''}$), образующаго потолокъ, двухъ *боковыхъ*, *передняго (подбрюшнаго)* a_4 и *задняго* a_3. Кожухъ дѣлается иногда плоскій вверху; иногда же выше цилиндрической части котла *(приподнятая коробка)*, съ цѣлью получать болѣе сухой паръ. Для большей прочности задній листъ скрѣпляется съ верхнимъ посредствомъ *угольниковъ* (§ 229).

---

[1]) Напр., *сплавъ* изъ 8 ч. висмута, 32 ч. свинца и 28 ч. олова плавится при 166,5° С, соотв. 7 атм. упругости пара; *сплавъ* изъ 8 ч. висм., 30 ч. свинца и 24 ч. олова плавится при 172° С (8 атм.) и т. п.

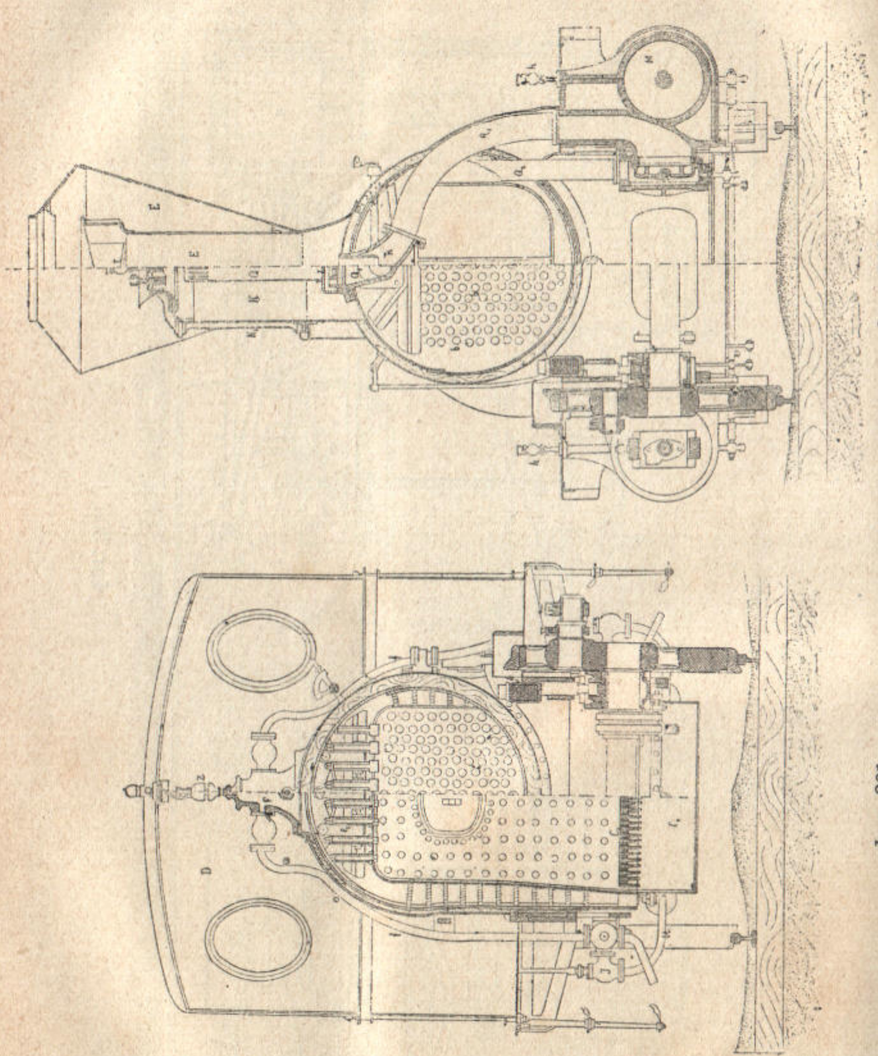


Фиг. 299.



Фиг. 300.

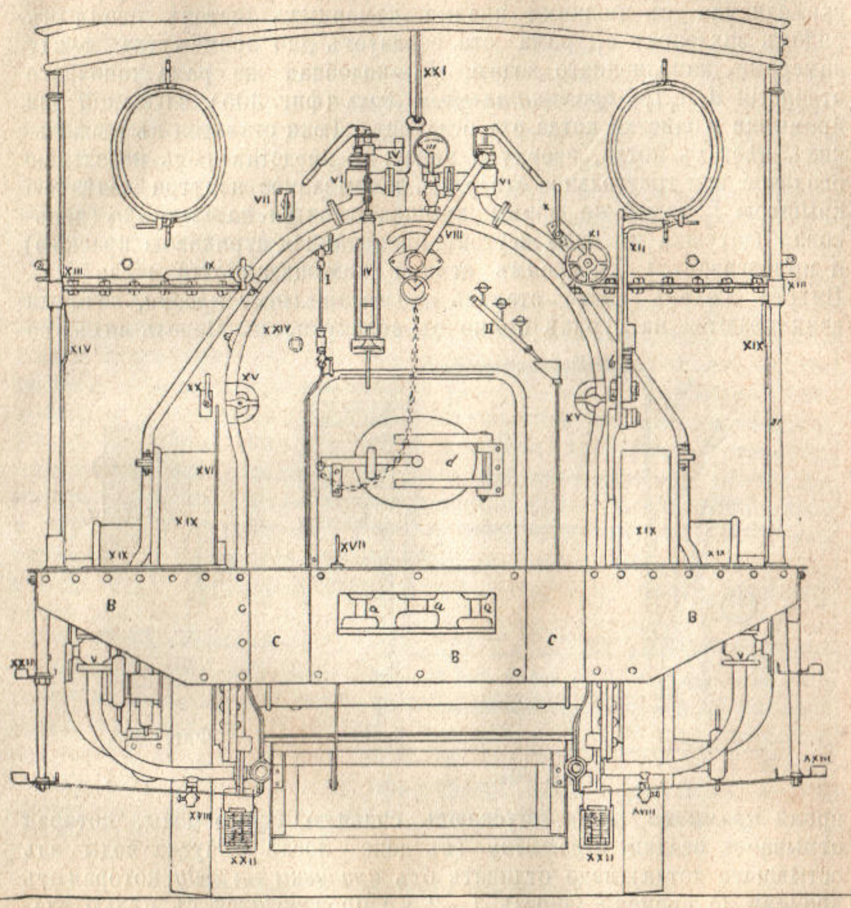
е,е—(фиг. 304 и 298) суть *распорныя заклепки (болты)*, приготовляемыя изъ мягкаго желѣза, стали или мѣди. Онѣ служатъ для скрѣпленія между собою плоскихъ стѣнокъ камеръ, въ предупрежденіе выпучиванія ихъ отъ давленія пара. Ввинтивъ такую заклепку, снабженную нарѣзкою, въ стѣнки камеръ, спиливаютъ нарѣзку на выступающихъ концахъ, которые затѣмъ расклепываютъ (въ холодномъ состояніи) въ головки. Распорныя заклепки нерѣдко



Фиг. 302.

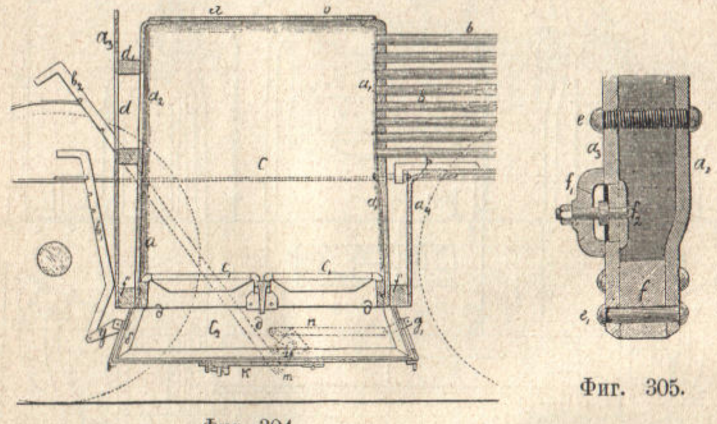
Фиг. 301.

разсверливаютъ до половины длины, для того чтобы можно было легко узнать по течи поломку какой либо изъ нихъ.



Фиг. 303. I.—водомѣрное стекло; II—пробные краны; III—манометръ; IV—пружинные вѣсы и рычагъ предохранительнаго клапана; V—часть корпуса инжектора; VI—паровпускной клапанъ инжектора; VII—ручка приводной тяги песочницы; VIII—рукоятка регуляторнаго вала; IX—ручка приводнаго вала продувательныхъ craновъ; X—ручка приводнаго валика форсоваго крана; XI—маховичекъ форсоваго конуса; XII—реверсъ съ зубчатою дугою b; XIII—маховички вѣстовыхъ крановъ; XIV—ручки вертикальныхъ тягъ водоприводныхъ крановъ инжектора; XV—промывательные люки; XVI—тяга зубчатая для подъема переднихъ дверецъ зольника; XVII—тяга зубчатая для подъема заднихъ дверецъ зольника. XVIII—краникъ водосточный на водопроводной трубѣ инжектора XIX—кожухъ надъ колесами; XX—ручка створнаго крана питательнаго клапана; XXI—колонка свистка; XXII—подвѣсныя рессоры, поддерживающія упорнымъ стержнемъ буксы заднихъ колесъ паровоза; XXIII—ступенька подножекъ площадки машиниста; XXIV—промывательный кранъ.

f—*нижняя рама огневой коробки* (фиг. 304, 305), т. е. желѣзная прокладка между внутреннею и наружною огневыми коробками, скрѣпляемая съ нижними краями камерныхъ листовъ двойнымъ рядомъ заклепокъ e_1; рама эта образуетъ дно промежутка между камерами, наполненнаго водою. d_1—подобная же рама топочнаго отверстія d. f_1 f_2—*промывательный люкъ* (фиг. 305), служащій для промывки и очистки котла отъ осадковъ. Люки ставятся въ нѣсколькихъ мѣстахъ котла, вверху и внизу, и представляютъ небольшое овальное или треугольное отверстіе, закрываемое изнутри желѣзною крышкою f_2 такой же формы; крышка ставится на *плетенкѣ* (пеньковая плетушка въ видѣ жгутовъ, пропитанная суриковою краскою) и притягивается къ краямъ стѣнки помощью болта и скобы f_1. Вмѣсто люковъ часто ставятъ *промывательныя пробки*, которыя ввинчиваются на сурикѣ прямо въ стѣнку котла. Черезъ нихъ, во



Фиг. 304.

Фиг. 305.

время *промывки* котла, пускаютъ сильную струю воды, которая отмываетъ осадки. *Промывку* (въ депо—послѣ выпуска воды изъ остывшаго котла) надо отличать отъ *продувки на ходу*, которая отъ времени до времени (черезъ 1—2 ч.) производится съ цѣлью удаленія части осадковъ, неуспѣвшихъ еще прикипѣть: накачиваютъ воду почти до верха водомѣрнаго стекла и, открывъ осторожно *спускной кранъ*, выпускаютъ часть воды (до середины стекла).

3) *Топочныя дверцы* d (фиг. 303), герметически закрывающія топочное отверстіе и имѣющія двойныя стѣнки (наружный и внутренній листы). скрѣпленныя заклепками, несущими на себѣ распорныя трубки. На чертежѣ видны: шарнирный болтъ дверецъ, запоръ и его скоба, удержка, петля на дверцахъ, планка съ двумя петлями на котлѣ, цѣпь дверецъ съ кольцомъ и крючкомъ.

4) *Колосниковая рѣшетка* C_1 *и поддувало* C_2 (фиг. 304). Колосниковая рѣшетка C_1 состоитъ изъ двухъ рядовъ (иногда изъ

одного—фиг. 299) чугунныхъ или желѣзныхъ *колосниковъ*, поддерживаемыхъ желѣзными полосами d, приклепанными къ стѣнкамъ камеры. *Поддувало* или *зольникъ* служитъ для собиранія золы и для регулированія тяги. Онъ имѣетъ видъ ящика и составляется изъ желѣзныхъ листовъ, склепанныхъ между собою и съ огневою камерою при помощи угольниковъ. g_1—*переднія дверцы зольника*, открываемыя при помощи системы колѣнчатыхъ рычаговъ $g_1$nm и рукоятки b_2 съ зубцами для прочной установки; δ—*заднія дверцы*; gb_1—*приводный рычагъ* этихъ дверецъ; k—*нижнія дверцы* зольника, открываемыя во время чистки и ремонта. Во время дѣйствія котла открываютъ лишь заднія дверцы δ.

5) *Анкерныя балки* e_1 (фиг. 299), служащія для укрѣпленія нёба въ предупрежденіе выпучиваніе его отъ давленія пара. Онѣ представляютъ высокія желѣзныя полосы, расположенныя рядами по длинѣ котла (фиг. 301) и опирающіяся своими концами на переднюю и заднюю стѣнки огневой камеры. Съ этими балками небо топки скрѣпляется посредствомъ болтовъ, наз. *анкерными*. Иногда анкеры ставятся поперегъ котла, концами на особые угольники, приклепанные къ боковымъ листамъ наружной камеры; иногда же вмѣсто анкеровъ употребляются длинные болты, стягивающіе небо и верхній листъ кожуха; если же небо выпуклое, то анкерныхъ скрѣпленій не ставится вовсе. *Для уменьшенія нагрузки нёба* анкерныя балки подвѣшиваются посредствомъ пряжекъ къ верхнему листу кожуха.

6) *Будка машиниста* (D фиг. 299 и 300), въ которой помѣщаются машинистъ, его помощникъ и кочегаръ. Листы: передній, боковые и листъ крыши склепываются съ *площадкою* будки при помощи угольниковъ. Переднія и боковыя стѣнки будки снабжены овальными окошками (фиг. 303). Въ будкѣ, подъ рукою у машиниста, находятся рукоятки приводныхъ тягъ и рычаговъ всѣхъ приборовъ, которыми управляетъ машинистъ (фиг. 303).

II. **Цилиндрическая часть котла** (фиг. 299).

Она склепывается изъ желѣзныхъ листовъ $\left(\frac{1}{2} - \frac{11''}{16}\right)$, рѣже изъ стальныхъ, и снабжена обшивкою изъ тонкаго листоваго желѣза для защиты котла отъ охлажденія; подобную же обшивку имѣетъ и наружная огневая камера; промежутокъ между стѣнками котла и обшивкою заполненъ деревянною или пробковою одеждою. Діаметръ цилиндрической части бываетъ у *товаропассажирскихъ* паровозовъ отъ $4'$ до $4^1/_3{}'$ при длинѣ $11—13^3/_4{}'$, а у *товарныхъ* отъ $4'$ до $5'$ при длинѣ $13'—17'$.

Внутри цилиндрической части проходятъ *дымогарныя* (*прогарныя*) трубки, числомъ отъ 150 — 230. Концы ихъ укрѣпляются

въ *задней* (a_1) и *передней* (a) трубныхъ доскахъ; первая мѣдная и скрѣплена съ цилиндрическою частью при помощи *связи* р (фиг. 304), а вторая — желѣзная и скрѣплена съ цилиндрическою частью посредствомъ угольниковъ (фиг. 302). Трубки большею частію *сваренныя желѣзныя* (или изъ мягкой бессемеровской стали) съ напаяннымъ со стороны топки мѣднымъ концомъ; наружный діаметръ ихъ 2″, толщина стѣнокъ около $^1/_8$″. *Латунныя* трубки (70% мѣди и 30% цинка) почти совсѣмъ оставлены, такъ какъ онѣ легко даютъ течь, вслѣдствіе того, что латунь расширяется сильнѣе желѣза; сверхъ того онѣ гораздо дороже желѣзныхъ (въ 2 раза). Для удобства вынимания трубокъ отверстіе для нихъ въ дымовой рѣшеткѣ дѣлается (иногда на конусъ) больше отверстія въ топочной рѣшеткѣ. Вставивъ трубку, концы ея расширяютъ (*раскатываютъ*) при помощи особой машинки (*раскатки Дёджона*), для того чтобы трубка плотно сидѣла въ трубныхъ доскахъ. Затѣмъ выступающіе края трубокъ загибаютъ (*расчеканиваютъ*) особымъ инструментомъ (*чеканкою*), образуя *буртикъ*. Если со временемъ буртики потекутъ, то вколачиваютъ въ конецъ трубки *стальныя кольца*. Чтобы вынуть трубку (для замѣны новою) обрубаютъ буртикъ въ топкѣ, сминаютъ конецъ и выбиваютъ затѣмъ трубку въ дымовую коробку.

На верху цилиндрической части помѣщаются *два паровыхъ колпака*—большой и малый. *Большой колпакъ К* приклепывается къ цил. части котла вблизи дымовой трубы (гдѣ паръ суше) и служитъ для собиранія и просушки пара; на немъ устанавливается *предохранительный клапанъ*, *лазъ и маслянка для регулятора* и въ немъ же беретъ свое начало паропроводная труба Q. *Малый колпакъ* F устанавливается близъ будки; на немъ находится свистокъ, второй предохранительный клапанъ и отъ него берутъ начало паровыя трубки инжекторовъ.

III. **Дымовая камера**.

Она составляетъ какъ-бы продолженіе цилиндрическаго корпуса котла. Заднюю стѣнку ея образуетъ передняя трубная доска *a* ($^3/_4$″), боковыя стѣнки и днище — желѣзные листы въ $^1/_4$″ толщиною, а переднюю стѣнку—желѣзный-же листъ въ $^5/_8$″. Принадлежности дымовой камеры:

1) *Промывательный люкъ*—внизу задней стѣнки коробки (въ передней трубной доскѣ).

2) *Стойка верхняго фонаря*—на передней стѣнкѣ.

3) *Поручни*, идущія вокругъ всего паровоза.

4) *Зольникъ* дымовой коробки съ заслонкою, для собиранія накопляющихся въ коробкѣ угольковъ и золы.

5) *Дверцы дымовой коробки*, устраиваемыя въ передней стѣнкѣ коробки и служащія для осмотра камеры и для вставленія и очистки прогарныхъ трубокъ. Дверцы должны плотно запираться, иначе тяга будетъ черезъ дверцы, а не черезъ поддувало. *Ригель* (*засовка*) затворнаго механизма дверецъ имѣетъ въ серединѣ рамку, въ которой помѣщается круглый эксцентрикъ (кулачекъ), снабженный рукояткою. Вращая рукоятку въ ту или другую сторону поднимаютъ (отпираютъ) или опускаютъ (запираютъ) засовку. Вторая ручка (на фиг. 299 не видна), снабженная винтомъ, служитъ для болѣе плотнаго притягиванія дверецъ къ передней стѣнкѣ камеры.

6) *Дымовая труба* E, имѣющая цилиндрическую форму и заключенная внутри коническаго кожуха E_1, предохраняющаго ея отъ охлажденія. Труба снабжена особымъ аппаратомъ t для задерживанія искръ (*искрогаситель*), представляющимъ сходство съ направляющимъ аппаратомъ тюрбинъ. Будучи перекрытъ сверху, аппаратъ t заставляетъ продукты горѣнія измѣнить направленіе своего движенія, при чемъ искры, продолжая по инерціи прямолинейное движеніе, полученное при выходѣ изъ аппарата, ударяются о кожухъ и, теряя скорость, падаютъ въ промежутокъ между кожухомъ и трубою; въ этомъ же промежуткѣ скопляется вода, образующаяся вслѣдствіе конденсаціи мятаго пара, выбрасываемаго въ трубу. Аппаратъ t ставится лишь въ паровозахъ, отапливаемыхъ дровами; при отопленіи углемъ ставится металлическая сѣтка надъ верхнимъ рядомъ прогарныхъ трубокъ.

7) *Люкъ* въ нижней части кожуха трубъ, для очистки его отъ золы и сажи.

IV. **Арматура котла.** Ее составляютъ:

1) *Водомѣрное стекло* (I, фиг. 303) съ отводною трубкою продувательнаго крана стекла;

2) *Три пробныхъ крана* (II, фиг. 303) съ воронкою и отводною трубкою подъ кранами.

3) *Манометръ* (III) со стойкою для фонаря.

4) *Два предохранительныхъ клапана* (p—фиг. 299 и IV—фиг. 303). Клапаны *пружинные* (системы *Мегенгофа*), т. е. конецъ рычага сочленяется со стержнемъ пружинныхъ вѣсовъ. Употребленіе груза неудобно въ томъ отношеніи, что вслѣдствіе измѣняемости положенія оси котла дѣйствіе его было бы неодинаково; сверхъ того, положеніе самого груза на рычагѣ могло бы измѣняться по причинѣ толчковъ и сотрясеній.

5) *Свистокъ* (z, фиг. 299) для подачи сигналовъ. Онъ состоитъ изъ двухъ бронзовыхъ чашекъ, установленныхъ съ небольшимъ зазоромъ одна надъ другою. Внутри чашекъ проходитъ стержень, снабженный на нижнемъ концѣ коническою пробкою, закрываю-

щею доступъ пара къ свистку, а верхнимъ концомъ сочлененный съ приводнымъ рычагомъ свистка; между верхнею чашкою и рычагомъ помѣщена спиральная пружина, нажимающая на рычагъ кверху. Нажавъ рычагъ книзу, машинистъ открываетъ клапанъ, причемъ сильная струя пара, ударяясь объ заостренный край верхней чашки, заставляетъ его вибрировать. Съ этимъ же рычагомъ соединенъ конецъ *сигнальной веревки*, которая протягивается вдоль всего поѣзда.

6) *Два напорныхъ инжектора* (J—фиг. 300, V—фиг. 303), помѣщаемыхъ подъ будкою. Одинъ изъ нихъ *запасной*. Паръ притекаетъ къ инжектору трубкою f, берущею начало въ маломъ колпакѣ F. Изъ тендера вода притекаетъ по трубкѣ *u*, нагнетаніе же въ котелъ происходитъ по трубкѣ i. Въ концѣ этой трубки установленъ *питательный клапанъ*, а между нимъ и котломъ помѣщается особый *створный кранъ*, имѣющій назначеніе изолировать клапанъ отъ котла на время осмотра питательнаго клапана, а также тушенія пожара струею воды изъ инжектора.

7) *Форсовый конусъ* (x. фиг. 299), служащій для регулированія тяги. Какъ извѣстно, искусственная тяга въ паровозахъ производится струею мятаго пара, который отводится изъ паровыхъ цилиндровъ по трубамъ R_1, R_1, соединяющимся въ дымовой коробкѣ въ чугунномъ *двойникѣ* R, верхушка котораго образуетъ такъ наз. *конусъ*. Выходя изъ конуса въ трубу E, мятый паръ увлекаетъ за собою газы, находящіеся въ дымовой коробкѣ, и такимъ образомъ производитъ въ ней разрѣженіе, обусловливающее тягу воздуха черезъ поддувало и колосниковую рѣшетку въ топку C. Регулированіе тяги конусомъ достигается измѣненіемъ его выпускнаго отверстія. Съ этою цѣлью передняя и задняя стѣнки конуса устраиваются въ видѣ клапановъ. Сближая или раздвигая эти стѣнки, достигаютъ *съуженія* или *расширенія* отверстія для выхода мятаго пара. Въ первомъ случаѣ скорость пара увеличивается, а чѣмъ больше эта скорость, тѣмъ сильнѣе присасываются горячіе газы изъ топки въ дымовую трубу, т. е. тѣмъ сильнѣе тяга. Для одновременнаго поворачиванія клапановъ конуса въ разныя стороны служитъ рычажный механизмъ S, приводимый въ движеніе тягою T, идущею вдоль всего паровоза и оканчивающеюся въ будкѣ машиниста рукояткою.

Иногда конусъ устраивается въ видѣ короткаго *коническаго мундштука*, который можетъ быть поднимаемъ или опускаемъ въ верхнемъ отверстіи двойника R при помощи системы рычажковъ, при чемъ отверстіе двойника съуживается или расширяется.

8) *Форсовый кранъ* или *сифонъ*. Тяга конусомъ производится во время движенія паровоза; во время же остановокъ (а также въ случаѣ порчи конуса) искусственная тяга производится при помощи такъ наз. *сифона*—мѣдной трубки, берущей начало въ боль-

шомъ колпакѣ K и выходящей другимъ концомъ (загнутыми кверху) въ дымовую трубу. Трубка снабжена краномъ, открывъ который пускаютъ струю пара изъ котла въ трубу и такимъ способомъ производятъ тягу. Для поворачиванія крана служитъ тяга, идущая снаружи котла къ будкѣ машиниста (на чертежѣ сифонъ не показанъ).

9) *Песочница* (G, фиг. 299). Случается иногда, что по какой либо причинѣ сцѣпленіе между ведущими колесами и рельсами уменьшается настолько, что колеса вращаются на одномъ мѣстѣ, не подвигая впередъ паровоза, или, какъ говорятъ, *боксуютъ*. Въ такихъ случаяхъ для увеличенія сцѣпленія рельсы посыпаются пескомъ, хранящимся въ *песочницѣ* G, откуда онъ выпускается помощью трубокъ, оканчивающихся у самаго рельса. *Рукоятка* для приводной тяги *клапана песочницы*, черезъ который выпускается песокъ, находится въ будкѣ машиниста.

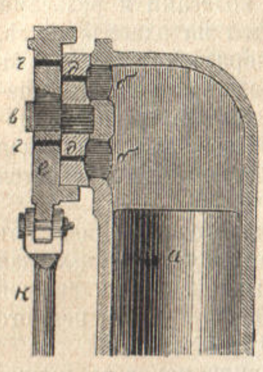
10) *Водоспускной кранъ*, черезъ который выпускается вода изъ котла во время *продувки* его или съ цѣлью *опоражниванія* (для чистки и ремонта). Онъ привинчивается обыкновенно въ нижней части наружной огневой коробки. На фиг. 300 онъ видѣнъ немного лѣвѣе инжектора J.

321. Паровая машина локомотива. Машина паровоза принадлежитъ къ типу *сдвоенныхъ машинъ*. Цилиндры ея прикрѣпляются къ рамамъ при помощи болтовъ, обыкновенно снаружи—по бокамъ дымовой коробки—въ горизонтальномъ положеніи. Между собою цилиндры скрѣпляются посредствомъ поперечныхъ отвѣсныхъ и горизонтальныхъ листовъ, склепанныхъ съ рамою при помощи угольниковъ. Какъ и весь котелъ, цилиндры снабжены кожухомъ. Крышки цилиндровъ либо притираются къ флянцамъ, либо ставятся *на мѣдную проволоку* или же *на бичевку и сурикъ*; подобнымъ же способомъ ставятся и крышки *шиберныхъ* (золотниковыхъ) *коробокъ*. На фиг. 300 видны *продувательные краны* g,g, ввинченные въ нижнюю часть *праваго* цилиндра M; они служатъ для *прогрѣва* цилиндровъ передъ началомъ хода машины и для *продувки* цилиндровъ (для выпусканія *конденсаціонной* воды) *на ходу*. Маслянки h и h_1 служатъ: первая для смазки внутренней поверхности цилиндра, а вторая для смазки золотниковаго стола.

Паръ изъ верхней части большаго колпака K, гдѣ онъ наиболѣе сухъ, забирается трубою Q, снабженною вверху продолговатыми щелями. Въ этой трубѣ установленъ плоскій золотникъ r, наз. *регуляторомъ*, играющій роль створнаго клапана. Регуляторъ имѣетъ форму пластинки, снабженной прорѣзами и движущейся по горизонтальному (или вертикальному, фиг. 306) столу съ соотвѣтственными окошками, устроенному на пріемномъ концѣ паропроводной трубы Q_1 (или регуляторной трубы Q, фиг. 306). Передвиженіе регулятора производится при помощи тяги m, оканчивающейся въ

будкѣ машиниста длинною рукояткою (фиг. 303); выходныя отверстія тяги (изъ котла наружу) снабжены сальникомъ. При открытомъ регуляторѣ паръ изъ трубы Q поступаетъ въ паропроводную трубу Q_1, которая развѣтвляется при входѣ въ дымовую коробку (при помощи чугуннаго *тройника*) на два рукава Q_2, Q_2, ведущіе паръ въ золотниковыя коробки цилиндровъ. Всѣ эти трубы мѣдныя.

На фиг. 306 представлена наиболѣе употребительная конструкція регулятора съ *двойнымъ золотникомъ и вертикальнымъ столомъ* б,б, въ которомъ сдѣланы прорѣзы, служащіе для впуска пара изъ котла въ паропроводную трубу Q. Вырѣзы б,б закрываются *большимъ* (широкимъ) золотникомъ *д*, въ тѣлѣ котораго имѣются узенькія щели *д,д*, закрываемыя *малымъ* (узенькимъ) золотникомъ е, въ которомъ сдѣланы подобныя же щели *г,г*. Приводъ отъ регуляторной рукоятки, помѣщающейся въ будкѣ машиниста, сдѣланъ къ малому золотнику. Скоба *в* служитъ для обезпеченія правильнаго положенія малаго золотника. Желая тронуть поѣздъ, машинистъ продвигаетъ осторожно внизъ малый золотникъ, для чего не требуется большаго усилія, такъ какъ поверхность прикосновенія его къ большому золотнику не велика. Какъ только малый золотникь сдвинутъ, паръ черезъ щели *г,г* и *д,д* проходитъ въ регуляторную трубу Q въ небольшомъ количествѣ: поѣздъ плавно трогается съ мѣста. При дальнѣйшемъ движеніи малаго золотника верхняя его закраина увлекаетъ внизъ большой золотникъ, при чемъ открываются большія отверстія б,б стола: машина можетъ работать полнымъ давленіемъ. Для смазки стола служитъ маслянка, устанавливаемая на большомъ колпакѣ (фиг. 299).



Фиг. 306.

Распредѣленіе пара въ локомотивахъ совершается *коробчатымъ золотникомъ* при помощи кулиссы, которыхъ у каждаго паровоза должно быть двѣ, по числу золотниковъ. Разсматриваемый паровозъ снабженъ *кулиссами Стифенсона* (фиг. 300). Перестановка обѣихъ кулиссъ производится помощью *реверса* Y (фиг. 301), сочлененнаго съ ведущею тягою W, другой конецъ которой сочлененъ съ рычагомъ Z_1, заклиненнымъ на горизонтальной оси, на которой посажены приводные рычаги (съ противовѣсами) обѣихъ кулиссъ. Перемѣщеніе золотниковъ при передвиженіи кулиссъ производится помощью изогнутой *тяги* u′u, огибающей переднюю ось O′.

Для устраненія мертвыхъ точекъ, кривошипы (или *колѣна*, если цилиндры внутреннія) заклинены одинъ къ другому подъ угломъ 90°. Движеніе *поршней* передается средней оси O при

помощи *шатуна* L, одинъ конецъ котораго сочлененъ съ *крейцкопфомъ* S_1, скользящимъ между параллелями m_1m_1, а другой—съ пуговкою l кривошипа, откованнаго за одно съ колесомъ O. *Поршни* паровозовъ обыкновенно желѣзные—штампованные, шведской системы *Рамсботтома*, т. е. съ металлическою набивкою въ видѣ 3—5 узенькихъ *колецъ* (пружинъ), чугунныхъ или бронзовыхъ.

322. Экипажная часть паровоза. Ее образуютъ *рама* и *колесный ходъ*.

Рама паровоза состоитъ изъ двухъ продольныхъ *балокъ* P,P (фиг. 300), склепанныхъ изъ толстыхъ желѣзныхъ листовъ. По концамъ (близъ топки и у цилиндровъ) балки скрѣплены между собою довольно толстыми *поперечными желѣзными листами*. Форма балокъ весьма разнообразна и зависитъ отъ расположенія колесъ и цилиндровъ. Кругомъ котла къ рамѣ прикрѣплены горизонтальные желѣзные листы, образующіе *площадку*, служащую для *обхода* паровоза во время движенія съ цѣлью осмотра и смазки частей. За топкою площадка эта переходитъ въ широкую *площадку будки машиниста*.

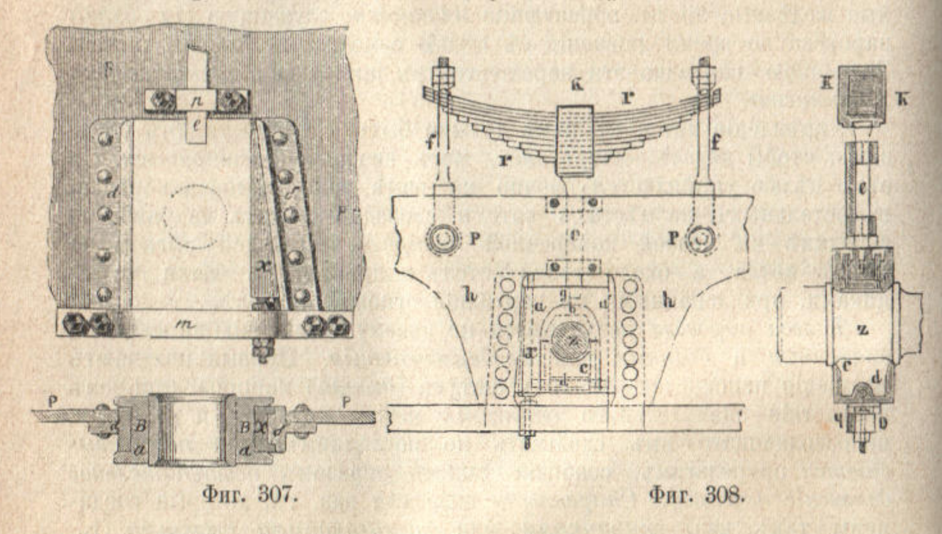
Укрѣпленіе котла къ рамѣ должно быть сдѣлано такимъ образомъ, чтобы котелъ, нагрѣваясь, могъ свободно *расширяться*. Съ этою цѣлью укрѣпляется прочно на рамѣ лишь дымовая коробка, въ остальныхъ же мѣстахъ котелъ свободно лежитъ на рамѣ: по срединѣ на особой поперечной *подпругѣ*, имѣющей выгибъ по формѣ котла, а около топки котелъ опирается на балки угольниками, приклепанными къ наружной огневой коробкѣ.

Колеса паровоза раздѣляются по своему назначенію на *ведущія*, *спаренныя* и *бѣгущія* или *поддерживающія*. Первыя получаютъ вращеніе непосредственно отъ шатуна (*дышла*) машины, при чемъ вслѣдствіе значительнаго *сцѣпленія* между колесомъ и рельсомъ, непозволяющаго имъ скользить по послѣднимъ, они *перекатываются* по рельсамъ, сообщая такимъ образомъ *поступательное движеніе паровозу*. *Спаренными* колесами наз. тѣ, которыя соединены такъ наз. *спарниками* или *сдваивающими дышлами* (L_1, фиг. 300) съ ведущими колесами и служатъ также для передвиженія паровоза (въ помощь къ ведущимъ). Наконецъ *бѣгущія* колеса служатъ только для поддержанія паровоза. *Число ведущихъ* осей зависитъ отъ *силы* паровоза. Въ *пассажирскихъ* паровозахъ обыкновенно всего одна только пара колесъ получаетъ движеніе отъ машины; въ паровозахъ же большой силы, напр., *товарныхъ*, спариваются двѣ и болѣе осей. Въ разсматриваемомъ товарномъ паровозѣ всѣ колеса спарены между собою.

Оси дѣлаютъ изъ самаго лучшаго желѣза или стали, колеса же большею частію желѣзныя и насаживаются на оси *гидравлическимъ давленіемъ* и сверхъ того укрѣпляются шпонкою. Кривошипы отковываются заодно со ступицею, которая затѣмъ сваривается со спи-

цами и ободомъ. На ободья колесъ надѣвается стальной *бандажъ* или *шина*; передъ надѣваніемъ шину разогрѣваютъ, для того чтобы, остынувъ, она плотно охватила ободъ колеса; для большей прочности шину прикрѣпляютъ къ ободу еще болтами. Когда шина *выбьется* ее замѣняютъ новою. Для предупрежденія схода колесъ съ рельсовъ шины снабжаются закраинами (*гребнями*), входящими между рельсовъ. *Пуговки* (цапфы или *пальцы*) кривошиповъ дѣлаются вставныя—гидравлическимъ давленіемъ или на притирку и гайку; въ обоихъ случаяхъ однако необходима шпонка. Наконецъ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ колеса выступаютъ выше площадки, идущей вокругъ паровоза, эта послѣдняя имѣетъ прорѣзы и выступающія части колесъ покрыты *кожухами*.

Въ паровозной рамѣ P сдѣланы вырѣзы для установки подшипниковъ паровозныхъ осей, наз. *буксами* (фиг. 307 и 308). Къ



Фиг. 307. Фиг. 308.

краямъ вырѣзовъ привинчиваются стальные *наличники* или *челюсти* (*щеки*) d,δ (фиг. 307), между которыми помѣщается букса *a* и держится въ нихъ помощью закраинъ. Челюсть d прикрѣплена къ рамѣ отвѣсно, а δ—наклонно; между этою послѣднею и буксою находится клинъ x, при помощи котораго производится правильная установка и укрѣпленіе буксы. Послѣдняя состоитъ изъ трехъ главныхъ частей: a—*желѣзная коробка* (корпусъ буксы), снабженная закраинами, охватывающими наличники d и δ; b — *бронзовый вкладышъ*, залитый *баббитовымъ сплавомъ* (олово, цинкъ, сюрьма); и c — *нижняя чугунная коробка*, назначенная для собиранія стекающей смазки; она укрѣпляется къ буксѣ посредствомъ болтика d и заключаетъ въ себѣ нерѣдко смазочную щетку, нажи-

маемую къ цапфѣ пружиною. Корпусъ буксы имѣетъ наверху углубленіе для помѣщенія смазки. На верхнюю часть буксы упирается стержень e *рессоры* r, состоящей изъ стальныхъ пластинокъ, охваченныхъ посерединѣ желѣзнымъ *хомутомъ* k. Концы рессоры соединены съ рамою паровоза при помощи подвѣсокъ f и такимъ образомъ черезъ ея посредство грузъ котла передается осямъ паровоза. Вслѣдствіе такого устройства рама можетъ свободно опускаться и подниматься, пользуясь игрою рессоръ, что составляетъ весьма важное удобство, такъ какъ рама вмѣстѣ съ котломъ подвержена, по причинѣ неровностей пути (стыковъ рельсъ) и другихъ обстоятельствъ (§ 324) довольно частымъ и сильнымъ сотрясеніямъ. Рессоры двухъ смежныхъ осей обыкновенно соединяются между собою посредствомъ *балансировъ* (фиг. 300) для болѣе равномѣрнаго распредѣленія нагрузки и толчковъ на всѣ оси.

Упряжная часть паровоза (для сцѣпленія съ *тендеромъ* [1]) состоитъ: 1) изъ *трехъ шкворней* α, a,a — для сцѣпленія съ *тендеромъ*. Шкворни эти вставляются въ *чугунную коробку*, укрѣпленную къ площадкѣ машиниста и къ заднему поперечному листу B. Къ этому же листу прикрѣплены два *чугунныхъ упора* C для буферовъ тендера. Боковые шкворни a,a—запасные, на случай разрыва главной связи тендера со шкворнемъ α; 2) *двухъ тягъ* β, изъ коихъ одна идетъ отъ средняго шкворня, а другая отъ тендера. Тяги эти снабжены на концахъ гайками, въ которыхъ проходитъ *стяжный винтъ*, снабженный двоякою нарѣзкою (лѣвою и правою) и ручкою, приваренною посерединѣ винта; 3) двухъ цѣпей для малыхъ шкворней.

Къ передней части рамы (передъ дымовой коробкою) прикрѣпленъ дубовый поперечный *буферный брусъ* H (фиг. 299), обшитый желѣзомъ. Въ буферномъ брусѣ по серединѣ укрѣпленъ *упряжный крюкъ* съ цѣпью для сцѣпленія паровоза съ поѣздомъ (когда приходится идти заднимъ ходомъ, на маневрахъ) или съ другимъ паровозомъ. Къ буферному брусу прикрѣпляютъ еще два *буфера n* служащіе для ослабленія ударовъ, происходящихъ при сцѣпкѣ вагоновъ. Они состоятъ изъ чугуннаго стакана n, въ которомъ заключена сильная стальная пружина h_1, и тарелки n_1, снабженной круглымъ стержнемъ, плотно входящимъ въ цилиндръ n и передающимъ удары и толчки пружинѣ буфера.

[1]) *Тендеромъ* наз. вагонъ-платформа, слѣдующая непосредственно за паровозомъ и служащая для помѣщеній запаса топлива и воды для котла. Вода содержится въ желѣзномъ резервуарѣ, снабженномъ 3 пробными кранами для опредѣленія количества воды, пріемною трубою для питанія тендера и водоспускнымъ клапаномъ. Зимою вода прогрѣвается паромъ, впускаемымъ по особой трубкѣ. Тендеръ снабженъ сильнымъ тормозомъ для остановки паровоза. На тендерѣ же помѣщается ящикъ съ инструментами, необходимыми при разныхъ случайныхъ работахъ на паровозѣ.

323. Работа паровозной машины; сила тяги паровоза; сопротивленіе поѣзда движенію. Полезная работа паровозной машины расходуется на преодолѣніе *сопротивленія поѣзда движенію.* Означивъ это сопротивленіе и скорость поѣзда буквами W (кил.) и v (м. въ сек.), получимъ работу, затрачиваемую въ сек. на преодолѣніе этого сопротивленія: Wv; слѣд., *полезная работа сдвоенной машины локомотива* должна быть равна:

$$N = \frac{Wv}{75} \text{ п. л.}$$

Предположимъ, что паровозъ имѣетъ одну пару ведущихъ колесъ и назовемъ буквою P силу, приложенную къ *ведущей оси*, направленную въ сторону поступательнаго движенія паровоза и способную произвести работу, равную работѣ машины локомотива; тогда получимъ:

$$N = \frac{Pv}{75} \text{ п. л.}$$

Усиліе P, необходимое для передвиженія поѣзда, наз. *силою тяги паровоза.* Какъ видно изъ предыдущихъ формулъ *сила тяги паровоза равна сопротивленію поѣзда движенію.*

Скорость v поѣзда есть величина данная; она опредѣляется назначеніемъ поѣзда: для пассажирскихъ поѣздовъ она больше, нежели для товарныхъ (§ 325). Если D и n будутъ діаметръ ведущихъ колесъ и число оборотовъ кривошипа въ мин., то для скорости v, предполагая, что колеса не *скользятъ* по рельсамъ, а только *перекатываются*, имѣемъ извѣстное выраженіе: $v = \pi Dn : 60$. По этой формулѣ опредѣляется при заданномъ числѣ оборотовъ машины (отъ 100 до 150) *діаметръ ведущихъ колесъ*, который, какъ видно, долженъ быть *тѣмъ больше*, *чѣмъ больше скорость поѣзда* (пассажирскіе поѣзда).

Сила машины локомотива должна быть достаточна для преодолѣнія сопротивленія поѣзда или, что то же, *для развитія необходимой силы тяги паровоза.* Наибольшая величина силы машины вполнѣ опредѣляется наибольшею величиною силы тяги или сопротивленія поѣзда (при данной скорости), но *наибольшая величина силы тяги опредѣляется тѣмъ условіемъ, чтобы ведущія колеса не боксовали*, для чего *сила тяги не должна превосходить сцѣпленія между колесами и рельсами.* Такъ какъ численная величина этого сцѣпленія равна тому тренію, которое развилось бы, если бы колеса начали скользить, то, называя буквами f и Q коэфф. тренія 1-го рода (0,16 — въ среднемъ) и давленіе ведущихъ колесъ на рельсы, *получимъ для наибольшей величины силы тяги выраженіе*

$$P_{max} = fQ.$$

Чѣмъ больше сопротивленіе поѣзда, тѣмъ больше должна быть *нагрузка* (или такъ наз. *полезный вѣсъ паровоза*) *его осей* (ведущихъ и спаренныхъ), а какъ послѣдняя зависитъ отъ вѣса локомотива, то ясно, что болѣе сильные паровозы (товарные) должны быть въ тоже время и болѣе тяжелые. Съ другой стороны, во избѣжаніе быстраго изнашиванія рельсовъ и бандажей, давленіе на ведущую ось не должно превосходить 10000 klg.; слѣд., наибольшая сила тяги, *при одной парѣ ведущихъ колесъ*, равна: $0{,}16 \cdot 10000 = 1600$ klg. При большей силѣ тяги, требующей большаго вѣса паровоза, распредѣляютъ нагрузку на большее число осей, спаривая ихъ сдваивающими дышлами.

Что касается сопротивленія поѣзда движенію, то въ составъ его входятъ: 1) сопротивленія, происходящія отъ тренія цапфъ осей въ буксахъ и колесъ объ рельсы; 2) сопротивленіе воздуха (вѣтра); 3) сопротивленіе, происходящее отъ вѣса поѣзда при подъемахъ; 4) сопротивленіе на криволинейной части рельсоваго пути. Послѣднее обусловливается *скольженіемъ колесъ по рельсамъ*, происходящимъ вслѣдствіе того, что путь, пробѣгаемый колесами по внѣшнему рельсу, болѣе пути, пробѣгаемому колесами другой стороны паровоза по внутреннему рельсу, и *треніемъ* закраинъ бандажей объ внѣшній рельсъ, происходящимъ вслѣдствіе центробѣжнаго стремленія поѣзда; для противодѣйствія послѣднему поперечный профиль полотна желѣзной дороги дѣлается слегка наклоннымъ къ центру закругленія. На величину перечисленныхъ сопротивленій оказываютъ вліяніе многія обстоятельства, какъ, напр., *состояніе пути* и *подвижнаго состава* (паровоза, вагоновъ), *смазка*, *система рессоръ*, *большая или меньшая правильность распредѣленія нагрузки на оси* и т. п. Отсюда понятна невозможность точнаго опредѣленія полнаго сопротивленія поѣзда. На практикѣ оно опредѣляется по эмпирическимъ формуламъ. Можно принять приблизительно: сопротивленіе *пассажирскаго* поѣзда на горизонтальномъ пути $= {}^1/_{215}$ вѣса всего поѣзда [1]), а *товарнаго* $= {}^1/_{350}$. *На подъемахъ* сопротивленіе увеличивается на столько тысячныхъ долей вѣса поѣзда, сколько тысячныхъ имѣетъ подъемъ. При опредѣленіи *состава поѣзда* руководствуются тѣмъ соображеніемъ, чтобы *общій вѣсъ его соотвѣтствовалъ силѣ тяги паровоза*, именно чтобы *полное сопротивленіе поѣзда было меньше силы тяги паровоза.*

324. Паразитныя движенія паровоза. *Поступательное движеніе локомотива* сопровождается всегда многими другими движеніями и колебаніями, происходящими отъ дѣйствія *инерціи подвиж-*

[1]) Вѣсъ вагоновъ *пассажирскихъ* измѣняется отъ 10 до 14 тоннъ, *товарныхъ* отъ 14 до 16 т., *тендера* отъ 10 до 15 т., *паровозовъ: пассажирскихъ* отъ 19 до 25 т., *товарныхъ* отъ 27 до 32 т. и *танкъ-паровозовъ* отъ 12 до 20 тоннъ.

ныхъ частей локомотива: *кривошиповъ*, *шатуновъ*, *штоковъ* и *поршней*.

Вслѣдствіе попемѣннаго движенія поршней, штоковъ, шатуновъ и золотниковъ взадъ—впередъ, происходитъ *подергиваніе* локомотива, выражающееся качаніями рамы вмѣстѣ съ котломъ то взадъ, то впередъ. Кромѣ подергиваній, движеніе паровоза сопровождается такъ наз. *извилистостью*, т. е. колебаніями его то въ ту, то въ другую сторону около вертикальной оси, проходящей черезъ его центръ тяжести. Причина извилистости заключается въ расположеніи мотылей подъ прямымъ угломъ, вслѣдствіе чего поршни по временамъ движутся въ противоположныя стороны; она влечетъ за собою безпрестанные боковые удары колесъ о рельсы.

Когда паровозъ находится въ покоѣ, то вѣсъ его уравновѣшивается упругою силою рессоръ; но при движеніи локомотива центры тяжести нѣкоторыхъ подвижныхъ частей его періодически то поднимаются, то опускаются (кривошипы, шатуны) и сверхъ того появляются особыя перемѣнныя вертикальныя силы (давленія ползуновъ на параллели). Вслѣдствіе этихъ причинъ происходятъ вертикальныя колебанія центра тяжести—такъ наз. *подпрыгиваніе* или *галоппированіе* паровоза—и сверхъ того колебанія его около продольной горизонтальной оси, проходящей черезъ ц. тяжести — *перевалка* паровоза. Наконецъ, такъ какъ сумма моментовъ вертикальныхъ силъ, производящихъ перевалку, относительно поперечной горизонтальной оси, проходяшей черезъ ц. тяжести паровоза, имѣетъ величину періодически измѣняющуюся, то паровозъ испытываетъ колебанія около этой оси, или такъ наз. *продольную качку*.

Всѣ указанныя выше *паразитныя движенія паровоза*, поглощая безполезно часть работы машины, производятъ на органы локомотива разрушающее дѣйствіе; однако вполнѣ уничтожить всѣ эти движенія нѣтъ возможности: напр., чтобы уничтожить перевалку нужно было бы уничтожить рессоры и параллели. Однако подергиванія, извилистость и галлопированія могутъ быть значительно ослаблены раціональнымъ примѣненіемъ *противовѣсовъ*, расположенныхъ на ведущихъ колесахъ.

325. Типы паровозовъ. Устройство паровозовъ обусловливается свойствами пути и назначеніемъ локомотива на данной дорогѣ. По роду ихъ службы паровозы раздѣляются на слѣдующіе 4 главные класса: 1) *пассажирскіе паровозы*, назначенные для движенія пассажирскихъ поѣздовъ; 2) *товарные* — для товарныхъ поѣздовъ; 3) *товаропассажирскіе паровозы* — для смѣшанныхъ поѣздовъ и 4) *тендеръ-паровозы или танкъ-паровозы*—для подгородныхъ линій и станціонной службы (составленіе поѣздовъ и т. п.).

Пассажирскіе паровозы *обыкновенной скорости* дѣлаютъ отъ 35 до 50 верстъ въ часъ при поѣздахъ до 15 вагоновъ. Они

имѣютъ 3 пары колесъ, изъ которыхъ одна только средняя—ведущая—большаго діаметра. Пассажирскіе паровозы *большой скорости* дѣлаютъ до 75 и даже до 100 верстъ въ часъ при поѣздѣ въ 7—8 вагоновъ. Для достиженія такой скорости ведущимъ колесамъ паровоза даютъ возможно большій діаметръ (отъ 2 до 2,6 м.). *Товарные* паровозы, назначенные для передвиженія тяжелыхъ товарныхъ поѣздовъ, дѣлаютъ отъ 18 до 28 верстъ въ часъ и имѣютъ спаренныя или строенныя колеса небольшаго діаметра (до 1,5 м.). Они обладаютъ большею силою тяги и могутъ передвигать поѣздъ отъ 30 до 40 и болѣе нагруженныхъ вагоновъ, общимъ вѣсомъ до 650 и болѣе тоннъ. *Товаропассажирскіе* паровозы занимаютъ среднее мѣсто между предыдущими. Они ходятъ со скоростью 32—45 верстъ въ часъ; ведущія колеса — сдвоенныя (отъ 1,5 до 1,6 м. діаметромъ). Паровозы эти могутъ вести поѣздъ въ 20 смѣшанныхъ вагоновъ по полотну съ уклономъ 0,005, т. е. 5 м. м. на 1 м. длины. *Танкъ-паровозы* не имѣютъ особаго тендера; резервуаръ для воды и топливо помѣщаются на площадкѣ паровоза; они отличаются вообще небольшими размѣрами и употребляются нерѣдко для движенія поѣздовъ по короткимъ подгороднымъ линіямъ. Станціонные тендеръ-паровозы (*кукушки*) служатъ для перестановки вагоновъ, составленія поѣздовъ и т. п.

326. Управленіе и содержаніе паровоза. Передъ назначеніемъ каждаго паровоза, совершенно новаго или вышедшаго изъ большаго ремонта, на службу онъ подвергается тщательному *осмотру*, причемъ машинистъ долженъ въ особенности убѣдиться, плотно ли запираются *дверцы огневой и дымовой камеръ* и *поддувала*, хорошо ли пригнаны и легко движутся всѣ тѣ *краны и ручки*, съ которыми придется имѣть постоянно дѣло во время движенія паровоза: *реверсъ*, *рукоятки приводныхъ рычаговъ регулятора*, *конуса*, *песочницы*, *продувательныхъ крановъ*, *золотниковыхъ коробокъ и цилиндровъ*, *инжекторовъ* и т. п.

Послѣ осмотра паровозъ *наполняютъ водою* (изъ напорнаго крана паровознаго сарая—черезъ водоспускной кранъ котла) и разводятъ *пробные пары*, причемъ пробуются *инжекторы*, *сифонъ*, *манометръ* и *предохранительный клапанъ* (послѣдніе испытываются при помощи *контрольнаго манометра*). Чтобы узнать, *плотно ли регуляторъ закрываетъ впускъ пара*, открываютъ золотниковые краны: выходъ пара черезъ нихъ укажетъ на неплотность регулятора. Затѣмъ закрываютъ эти краны, тормозятъ тендеръ, ставятъ реверсъ на мертвую точку (камень въ серединѣ кулиссы) и открываютъ регуляторъ; при этомъ по протекамъ пара судятъ о *неплотности паропроводныхъ трубъ*, *золотниковыхъ крышекъ*, *сальниковъ*, *крановъ*, а выходъ пара въ трубу укажетъ на *неплотное прилеганіе золотниковъ* къ столамъ. Наконецъ, чтобы узнать, *плотны ли поршни*, ставятъ кулиссу то на передній, то на задній ходъ (при открытыхъ продувательныхъ кранахъ), при чемъ каждый разъ паръ долженъ выходить лишь съ одной стороны цилиндровъ. Если всѣ эти части окажутся въ исправности, машинистъ смазываетъ паровозъ и дѣлаетъ *пробную поѣздку*, имѣющую цѣлью провѣрить исправность паровоза въ дѣйствіи, главнымъ образомъ экипажной части: *колесъ* и *шинъ*, а также удовлетворительность смазки, для чего наблюдаютъ, *нагрѣются ли* очень *параллели*, *штоки*, *эксцентрики*, *буксы*, вслѣдствіе ли того, что эти части туго притянуты, или потому что фитили дурно проводятъ смазку. При пробной поѣздкѣ испытываютъ дѣйствіе *конуса*. По исправленіи всѣхъ оказавшихся

недостатковъ паровозъ назначается *въ нарядъ*. Его дополняютъ водою, если ея мало, и *разводятъ пары*, т. е. производятъ растопку, на которую требуется около 3 часовъ, если вода въ котлѣ холодная и около 1 часа, если она еще горячая. За полчаса до отхода поѣзда готовый паровозъ выходитъ изъ сарая къ станціи.

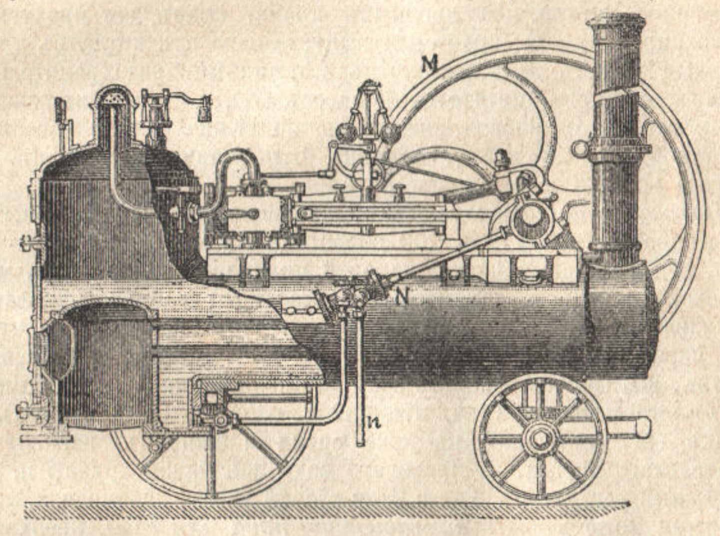
При *выѣздѣ съ поѣздомъ со станціи* машинистъ ставитъ реверсъ на полный ходъ (послѣдній зубъ), отпускаетъ тендерный тормазъ и осторожно по немногу открываетъ регуляторъ: поѣздъ трогаетъ; машинистъ открываетъ продувательные краны цилиндровъ, съ цѣлью выпустить конденсаціонную воду, которой въ началѣ накапливается особенно много, ставитъ реверсъ ближе къ серединѣ зубчатой дуги (обыкновенно на 3-й зубъ) и по немногу открываетъ больше регуляторъ. На пути должно ѣхать съ вполнѣ открытымъ регуляторомъ (во избѣжаніе торможенія пара дѣйствіемъ съуженныхъ отверстій). *На пути* машинистъ долженъ главнымъ образомъ заботиться о сохраненіи надлежащаго давленія пара, наблюдая (согласно указаніямъ манометра) за своевременнымъ забрасываніемъ топлива въ топку. *На спускѣ* паровозъ идетъ безъ паровъ—при закрытомъ регуляторѣ, *передъ подъемомъ* должно заблаговременно подкинуть топлива. Регулированіе тяги производится преимущественно при помощи большаго или меньшаго подъема *дверецъ зольника* (обыкновенно задней—при переднемъ ходѣ); къ *подвертыванію конуса* должно прибѣгать въ крайнемъ случаѣ, такъ какъ съ уменьшеніемъ отверстія вылета пара въ значительной степени увеличивается сопротивленіе мятаго пара. Къ *сифону* прибѣгаютъ для усиленія тяги, если пару образуется недостаточно, во время стоянки или когда паровозъ идетъ съ закрытымъ регуляторомъ. При *питаніи инжекторомъ* открываютъ сначала вѣстовой кранъ, и затѣмъ кранъ, сообщающій инжекторъ съ водою тендера; когда вода покажется изъ вѣстоваго крана, осторожно открываютъ паровой кранъ инжектора. Зимою, во избѣжаніе замерзанія воды какъ въ инжекторахъ, такъ и въ трубахъ, а также въ тендерѣ, ее прогрѣваютъ отъ времени до времени паромъ, для чего открываютъ паровой кранъ и запираютъ вѣстовой кранъ инжектора. *При подъѣздѣ къ станціи* машинистъ заблаговременно закрываетъ регуляторъ; по остановкѣ поѣзда тендеръ долженъ быть заторможенъ, реверсъ переставленъ на мертвую точку. Во время стоянки поѣздъ осматривается, смазывается и берется вода и топливо.

Послѣ болѣе или менѣе значительнаго *пробѣга* (800—1000 верстъ) паровозу даютъ большую остановку—для *чистки* и *промывки*. Послѣдняя имѣетъ цѣлью удаленіе осадковъ и накипей и производится, послѣ совершеннаго остыванія опорожненнаго паровоза, сильною струею воды черезъ открытые люки и промывательные краны. Чистка дымогарныхъ трубокъ производится при помощи длиннаго желѣзнаго прута съ намотанною на концѣ его паклею. Пользуясь продолжительной остановкою, производятъ также чистку всего паровоза снаружи (колесъ, осей, рамы, сальниковъ, дышлъ, кулиссъ, параллелей и проч.), перемѣняютъ, если надо, *набивку сальниковъ* (пропитанная саломъ плетенка—въ видѣ жгутовъ изъ бумажной пряжи или пеньки), а также производятъ необходимый ремонтъ паровоза.

327. Локомобили. *Локомобилемъ* (фиг. 309) наз. паровая машина высокаго давленія, установленная вмѣстѣ съ котломъ на колесный ходъ, служащій для перемѣщенія локомобиля съ мѣста на мѣсто (обыкновенно лошадьми). Мѣсто изобрѣтенія локомобиля—Америка, но въ настоящее время они распространены всюду, имѣя наибольшее примѣненіе въ сельскомъ хозяйствѣ, гдѣ они служатъ для движенія различныхъ сельскохозяйственныхъ машинъ: молотилокъ, вѣялокъ, плуговъ, соломорѣзокъ, маслобоекъ, а также центро-

бѣжныхъ насосовъ, круглыхъ пилъ и т. п. Соотвѣтственно этому назначенію, локомобили должны удовлетворять двумъ главнымъ условіямъ: 1) они должны быть настолько легки, чтобы одна или двѣ лошади могли передвигать ихъ по всякой дорогѣ; 2) устройство ихъ должно быть на столько просто, чтобы уходъ за ними не представлялъ затрудненій для сельскихъ рабочихъ.

Паровой котелъ локомобиля—трубчатой системы (паровознаго типа), но трубки (желѣзныя) короче и меньше числомъ (не болѣе 40). Онъ заключаетъ въ себѣ слѣдующія части: *огневую камеру* (наружную и внутреннюю), распорные болты, анкерныя связи, плавящіяся пробки, промывательные люки, топочныя дверцы, колосниковую рѣшетку, зольникъ. Послѣдній дѣлается въ видѣ плоскаго (съемнаго)



Фиг. 309.

ящика, закрытаго съ трехъ сторонъ, чтобы вѣтеръ не выдувалъ изъ него золу и мелкіе кусочки раскаленнаго угля. Зольникъ долженъ быть на столько плотно склепанъ, чтобы могъ держать въ себѣ воду (для гашенія золы). *Топливомъ* для локомобиля служитъ: каменный уголь, торфъ, нефть, дрова, а въ безлѣсныхъ мѣстностяхъ—солома, камышъ, дубовое корье (отбросъ кожевенныхъ заводовъ). Лучшіе локомобили расходуютъ 6—8 фунтовъ угля въ часъ на 1 п. л., дровъ—въ $2^1/_2$ раза больше. За *огневою камерою* слѣдуютъ: *цилиндрическая часть* котла съ прогарными трубками, концы коихъ укрѣплены въ задней и передней трубныхъ доскахъ, *дымовая камера*, дверцы дымовой коробки, дымовая труба. Тяга искусственная—струею мятаго пара. Труба склепывается изъ желѣзныхъ листовъ

и имѣетъ высоту отъ 10 до 12 фут. Она ставится на шарнирѣ и во время работы укрѣпляется защелкою или чекою. Въ нижней части трубы долженъ быть помѣщенъ регистръ (заслонка) для управленія огнемъ. Во избѣжаніе пожара отъ искръ, вылетающихъ въ трубу, въ особенности если топливомъ служатъ дрова, солома или камышъ, труба должна быть снабжена искроловителемъ. Что касается *пароваго купола*, то онъ ставится лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, чтобы не увеличивать вѣсъ локомобиля (не болѣе 300 пуд.— порожній). Наконецъ, для уменьшенія излучиванія теплоты, котелъ (и паровой цилиндръ) снабжается *кожухомъ* изъ толстаго слоя *войлока*, покрытаго дюймовою досчатою обшивкою, а сверхъ послѣдней— замочнымъ листовымъ желѣзомъ. *Арматуру котла* составляютъ: водомѣрное стекло, два пробныхъ крана, кранъ для продувки и опоражниванія котла, кранъ для выпуска пара изъ котла въ трубу, створный клапанъ, лазъ, манометръ, пружинный предохранительный клапанъ, свистокъ, питательный насосъ (N), а иногда, въ качествѣ вспомогательнаго прибора, инжекторъ, но лучше ручной насосъ. Въ клапанной коробкѣ насоса долженъ быть установленъ кранъ—для выпуска воздуха и остановки питанія.

Паровая машина локомобиля обыкновенно одноцилиндровая, большой скорости (отъ 110 и 200 оборотовъ въ мин.), силою отъ 2 до 25 п. л. Ея главныя части: паровой цилиндръ, поршень съ металическою (чугунною, латунною или стальною) набивкою, маслянка цилиндра, продувательные краны, распредѣлительная коробка, чугунныя параллели, маслянка ихъ, бронзовые ползуны, крейцкопфъ, шатунъ, колѣнчатый главный валъ, его подшипники со вкладышами изъ *бѣлаго металла* (7 ч. мѣди, 82 ч. олова и 11 ч. сюрьмы), маховикъ (M), служащій въ тоже время и шкивомъ, эксцентрикъ питательнаго насоса, забирающаго воду изъ кадки трубою n, центробѣжный регуляторъ Уатта. При сборкѣ частей локомобиля, между которыми можетъ быть *просачиваніе пара или воды*, необходимо употреблять особыя *прокладки*: для *крышекъ цилиндра*, *золотниковой коробки* и *фланцевъ паропроводныхъ трубъ*—ровный и тонкій слой *суриковой замазки* (сурикъ, свинц. бѣлила и вареное льняное масло), на которую накидывается толстая бумажная нитка въ видѣ спирали; для *крышекъ люковъ* и *лазовъ* — пеньковая *плетенка* въ видѣ жгутовъ, пропитанная суриковою краскою; для *фланцевъ крановъ*—свинцовые кружки ($^1/_8''$); для *сальниковъ* поршневаго и золотниковаго штоковъ — *пеньковая плетушка*, пропитанная чистымъ саломъ; подъ *гайки водомѣрнаго* стекла каучуковыя кольца; *для насоса*—пеньковая набивка, смачиваемая водою.

Колесный ходъ локомобиля состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ паръ колесъ (желѣзныхъ); *переднія колеса* имѣютъ діаметръ 3′, *заднія*— 5′; ось послѣднихъ изогнута и на нее опирается огневая коробка. Ширина шинъ—5″.

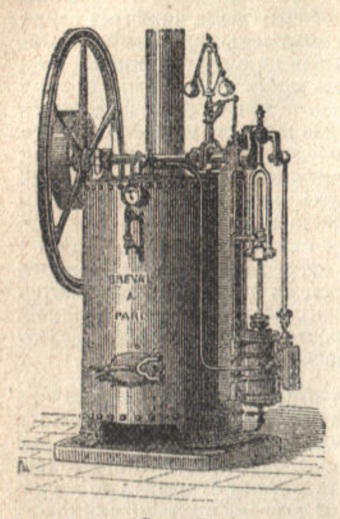
328. Управленіе локомобилемъ. Растопка локомобиля начинается за 30—40 м. до начала работъ и производится на мѣстѣ работъ, куда онъ перевозится порожній, при чемъ слѣдуетъ снять манометръ, во избѣжаніе порчи его отъ сильныхъ сотрясеній. Передъ *наполненіемъ* котла водою закрываютъ створный клапанъ и открываютъ верхній пробный кранъ, для свободнаго выхода воздуха. Положивъ на рѣшетку немного растопокъ (щепки, стружки, солома, *концы* — сальныя тряпки, оставшіяся отъ чистки локомобиля), зажигаютъ ее, закрывъ топочныя дверцы и открывъ немного регистръ. Въ это время машинистъ осматриваетъ всѣ соединенія и маслянки и подтягиваетъ гдѣ надо гайки. Когда изъ пробнаго крана появится струя пара, его запираютъ. Какъ только манометръ покажетъ нормальное давленіе, машинистъ *провѣряетъ уровень воды*, открывая по очередно краны, *провѣряетъ стекло*, *продуваетъ цилиндръ* и *пробуетъ предохранительный клапанъ рукою.* Убѣдившись въ исправности всѣхъ этихъ приборовъ, машинистъ открываетъ понемногу *створный* (стопорный) клапанъ: машина начинаетъ двигаться. Въ это время слѣдуетъ продуть котелъ, открывъ водоспускной кранъ. Остановивъ машину для надѣванія ремня, машинистъ даетъ *первый свистокъ*: машина готова. Затѣмъ онъ даетъ ходъ машинѣ, открывая осторожно стопорный клапанъ. Какъ только скорость машины сдѣлается нормальною машинистъ даетъ *второй свистокъ* — сигналъ начинать работу: пускать матеріалъ въ рабочую машину. *На ходу локомобиля* машинистъ долженъ лишь слѣдить за манометромъ и стекломъ для поддержанія огня. *Сила машины* регулируется отсѣчкою (отъ руки), если золотникъ двойной, регуляторъ же ограничиваетъ измѣненія скоростей, происходящія вслѣдствіе колебаній упругости пара и полезной работы.

При остановкѣ во время работы (на время отдыха, обѣда) машинистъ ослабляетъ закладку топлива, закрываетъ регистръ, постепенно закрываетъ стопорный клапанъ и открываетъ кранъ сифона, а также продуват. краны цилиндра. *При остановкѣ на ночь*, машинистъ, прекративъ питаніе топки, заставляетъ (*по первому свистку*) усиленно работать топку открывая по временамъ водопускной кранъ. Остановивъ машину (*по второму свистку*), снимаютъ ремень съ маховика. Затѣмъ машинистъ пускаетъ машину *холостою*, но съ помпою, пока давленіе пара не упадетъ, вслѣдствіе недостатка огня и усиленнаго питанія холодною водою, до $1^1/_2$—2 атм., удаляетъ остатокъ огня, осматриваетъ и прочищаетъ колосники и прогарныя трубки, а по совершенной остановкѣ локомобиля открываетъ спускной кранъ и продуваетъ котелъ, доводя уровень воды до нормальнаго положенія. Далѣе открываетъ верхній пробный кранъ (на всю ночь), закрываетъ всѣ маслянки, кранъ помпы, топочныя дверцы, регистръ и обтираетъ на чисто машину (потеки масла, сала). Въ зимнее время слѣдуетъ выпустить воду изъ питательной трубы и изъ водомѣрнаго стекла. *При остановкѣ на продолжительное время* котелъ слѣдуетъ опорожнить, всѣ части, могущія ржавѣть, насухо обтереть и смазать, а мелкую арматуру убрать.

Чистка котла производится по крайней мѣрѣ *разъ въ мѣсяцъ.* Выпустивъ воду, очищаютъ помощью щетокъ и скребковъ стѣнки отъ грязи и накипи; затѣмъ чистятъ внутренность огневой коробки, дымовой камеры и трубокъ (при помощи круглыхъ щетокъ). Вымывъ и высушивъ котелъ, производятъ тщательный осмотръ его, съ цѣлью открыть какія-либо недостатки (прогаръ, ржавчину, трещины и пр.), требующіе ремонта. Чаще всего изнашиваются *вкладыши*, *колосники* и *прогарныя трубки*, *набивка сальниковъ.* Первый ремонтъ вкладышей—подпиливаніе ихъ для образованія зазора. Колосники и трубки служатъ до 2—3 лѣтъ; первые прогораютъ и ломаются, у вторыхъ горятъ буртики въ задней рѣшеткѣ. *Набивка поршней* служитъ долго. Чтобы обнаружить протекъ пара черезъ набивку поршня ставятъ его на середину и открываютъ продувные краны (привязавъ ма-

ховикъ къ неподвижному устою): при плотной набивкѣ паръ будетъ выходить только черезъ одинъ кранъ.

329. Полулокомобили. Подъ этимъ именемъ разумѣютъ безколесные локомобили, т. е. небольшія легкопереносныя паровыя машины, укрѣпленныя на своемъ котлѣ. Полулокомобили, устанавливаются или прямо на фундаментѣ, или прикрѣпляются къ нему болтами. Фиг. 310 представляетъ вертикальный полулокомобиль, построенный *Бревалемъ* (въ Парижѣ). Машины этого рода всегда высокаго давленія. Отличаясь компактностью, быстрымъ, но плавнымъ ходомъ, онѣ особенно удобны для *небольшихъ заводовъ и мастерскихъ*, въ которыхъ, по недостатку мѣста, невозможно установить постоянную машину.



Фиг. 310.

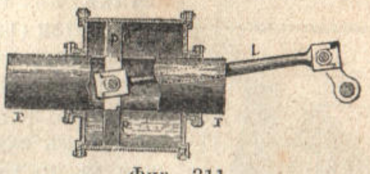
330. Пароходныя машины [1]. Машины эти служатъ для вращенія *гребныхъ колесъ* или *винта*, при помощи которыхъ достигается поступателъное движеніе судна. Сообразно этому пароходныя машины раздѣляются на *машины колесныхъ пароходовъ* и *машины винтовыхъ пароходовъ*.

Первыя раздѣляются на *качающіяся* и *наклонныя* машины. *Качающіяся машины* имѣютъ сравнительно небольшой вѣсъ и занимаютъ мало мѣста, а потому ставятся на мелкосидящихъ и вообше небольшихъ судахъ. Поршневой *шпинтонъ* (штокъ) сочленяется непосредственно съ колѣнчатымъ валомъ и кромѣ сальника не имѣетъ болѣе никакихъ направляющихъ. Цилиндръ качается около двухъ прилитыхъ къ нему пустотѣлыхъ цапфъ; черезъ одну изъ нихъ притекаетъ свѣжій паръ, черезъ другую же выходитъ мятый *Наклонныя машины* представляютъ въ настоящее время наиболѣе распространенную монтировку, вытѣсняя болѣе и болѣе качающіяся машины. Цилиндры располагаются подъ опредѣленнымъ угломъ одинъ къ другому, ниже колѣнчатаго вала колесъ.

---

[1]) Первая попытка примѣненія силы пара для движенія судовъ была сдѣлана еще *Папеномъ*, построившимъ въ 1707 г. паровую лодку, на которой онъ спустился по р. Фульдѣ отъ Касселя до Мюнхена. Послѣ ряда неудачныхъ попытокъ *Голля* (1737 г.), *Перрье* (1775), *Миллера* (1787), *Стэнгопа* (1795), *Ливингстона* (1798), *Эванса* и др., былъ построенъ первый пассажирскій пароходъ, удовлетворявшій требованіямъ практики, америк. *Робертомъ Фультономъ* (1807 г.), который по справедливости и считается изобрѣтателемъ паровыхъ судовъ.

Машины винтовыхъ пароходовъ раздѣляются по способу монтировки на *вертикальныя*, *горизонтальныя и наклонныя*. *Первыя* устанавливаются совершенно подобно фабричнымъ вертикальнымъ машинамъ безъ коромысла, главный валъ которыхъ помѣщенъ ниже цилиндровъ. Онѣ употребляются чаще всего на коммерческихъ морскихъ пароходахъ. *Горизонтальныя машины* употребляются почти исключительно на военныхъ судахъ, гдѣ онѣ должны лежать по возможности глубже подъ палубой для защиты отъ непріятельскихъ выстрѣловъ. Онѣ страдаютъ тѣмъ недостаткомъ, что при большихъ машинахъ цилиндръ со временемъ, вслѣдствіе дѣйствія вѣса поршня, разрабатывается овально. Для уравновѣшиванія поршня его снабжаютъ пустотѣлымъ штокомъ F (*трöнкомъ*), пропущеннымъ черезъ сальники обѣихъ крышекъ (фиг. 311). Шатунъ L сочленяется непосредственно съ поршнемъ P, имѣющимъ кольцеобразную форму. Діаметръ трöнка долженъ быть достаточно великъ для того, чтобы шатунъ могъ свободно качаться внутри его. Машины этого рода, изобрѣтенныя англ. инж. *Пенномъ* и наз. *трöнковыми*, занимаютъ мало мѣста, но онѣ требуютъ весьма большихъ цилиндровъ и сверхъ того трöнкъ, попеременнно входя и выходя изъ цилиндра, служитъ причиною значительной потери теплоты. Не смотря на это трöнковыя машины очень распространены на военныхъ судахъ. Наконецъ *наклонныя машины* встрѣчаются вообще рѣдко на винтовыхъ судахъ, преимущественно на небольшихъ пароходахъ, гдѣ онѣ устанавливаются съ цѣлью выиграть мѣсто. Цилиндры располагаютъ одинъ къ другому подъ опредѣленнымъ угломъ надъ валомъ винта.



Фиг. 311.

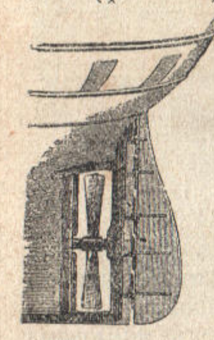
Въ настоящее время на параходахъ ставятся исключительно *машины высокаго давленія* и *компаундъ-ресиверъ-машины*. По невозможности ставить маховикъ первыя дѣлаются *сдвоенной системы*. Мятый паръ выбрасывается въ дымовую трубу для произведенія искуственной тяги.

331. Главныя части пароходной машины суть: 1) *паровой цилиндръ съ поршнемъ;* 2) *распредѣлительный механизмъ и кулиссы*; 3) *передаточный механизмъ* и 4) *конденсаторъ съ насосами*. Такъ наз. *гребной механизмъ* составляютъ гребныя колеса и винтъ.

Гребныя колеса представляютъ большое сходство по устройству съ висячимъ колесомъ, но строятся обыкновенно изъ металла: втулка—чугунная, ручки и лопатки—желѣзныя; колеса насаживаются по концамъ колѣнчатаго вала, установленнаго поперекъ судна. Лопатки этихъ колесъ, погружаясь въ воду на 10—20 сант., встрѣчаютъ со стороны воды сопротивленіе, выражающееся давленіемъ

ея на лопатки и обусловливающее поступательное движеніе судна [1]). Число оборотовъ колесъ въ минуту отъ 20 до 40. При своемъ вращеніи колеса сообщаютъ водѣ волнообразное движеніе (*отбой*), которое поглощаетъ большую часть работы, передаваемой колесамъ [2]). Главный *недостатокъ* гребныхъ колесъ заключается въ неправильности дѣйствія ихъ во время *качки*, при которой колеса неодинаково погружаются въ воду, слѣдствіемъ чего является неодинаковое давленіе на нихъ воды. При этомъ происходятъ постоянныя уклоненія судна, влекущія за собою потерю работы.

Въ большей части паровыхъ судовъ гребныя колеса замѣнены винтомъ [3]), состоящимъ подобно вѣтряному колесу, изъ нѣсколькихъ (2, 3 или 4) бронзовыхъ или стальныхъ крыльевъ или *лопастей* (фиг. 312), имѣющихъ форму винтовой поверхности и прилитыхъ къ толстой втулкѣ. Винтъ укрѣпляется около руля (на 0,5 м. подъ водою) къ концу горизонтальнаго вала, установленнаго въ прочныхъ подшипникахъ параллельно килю. При своемъ вращеніи въ водѣ, какъ въ гайкѣ, винтъ получаетъ вмѣстѣ съ судномъ поступательное движеніе, сообщая въ то же время водѣ волнообразное движеніе въ противоположную сторону, на которое тратится значительная часть работы машины, такъ что полезное дѣйствіе винта въ тихой водѣ почти одиноково съ колесами. Число оборотовъ винта въ минуту въ малыхъ судахъ равно 100 до 150, а въ большихъ—отъ 45 до 80.



Фиг. 312.

Скорость судовъ опредѣляется числомъ *узловъ* въ часъ, разумѣя подъ узломъ въ часъ 1 морскую милю=1,73898 версты. Обыкновенная скорость судовъ въ тихой водѣ измѣняется отъ 5,91 до 9,46 узловъ, т. е. отъ 10 до 16 фут. въ секунду или 10,29 до 16,46 верстъ въ часъ.

---

[1]) Въ Китаѣ съ незапамятныхъ временъ строятъ джонки съ 4 гребными колесами, которыя приводятся въ движеніе людьми при помощи рукоятокъ. Римскія *либурны* (въ Акціумѣ) имѣли 3 пары гребныхъ колесъ, которыя приводились въ движеніе 3 парами воловъ.

[2]) Изъ опытовъ надъ колеснымъ пароходомъ *Касторъ*, дѣлающимъ рейсы между Гонфлеромъ и Гавромъ, оказалось, что изъ 100 пар. лош. машины только 33,9 шло на преодолѣніе сопротивленія воды и 7,9 поглощалось треніемъ; остальная часть 58,2 пар. л. поглощалась отбоемъ.

[3]) Первыя попытки примѣненія винта были сдѣланы *Дюкъ* (1727), *Лалльери* (1803), *Делилемъ* (1823), *Соважемъ* (1832), и др., но полное практическое рѣшеніе вопроса принадлежитъ англ. механику *Смиту*, построившему въ 1838 г. винтовой пароходъ *Архимедъ* въ 90 силъ. Первые винты Смита были съ полнымъ ходомъ. Опытъ показалъ скоро преимущества винтовъ съ отдѣльными лопастями, изъ которыхъ каждая занимала по длинѣ оси лишь небольшую часть хода винта.

ГЛАВА XIV.

Калорическія и газовыя машины.

Динамо-машины.

Калорическія машины.—Машины Эриксона и Лемана.—Газовыя машины Ленуара и Отто. — Нефтяныя машины. — Источники динамическаго электричества.—Динамо-машины Грамма и Сименса.—Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія динамо-машинъ.—Установка и уходъ за динамо-машинами.—Электрическая передача работы на разстояніе.

332. Калорическія машины. *Калорическими* наз. термическія машины, въ которыхъ работа производится упругою силою нагрѣтаго воздуха. Какъ было уже замѣчено (§ 85), калорическія машины представляютъ слѣдующія преимущества передъ паровыми: 1) полную безопасность работы, обусловливаемую отсутствіемъ пароваго котла и играющую столь важную роль вездѣ, а особенно *въ мелкой промышленности*, гдѣ машины двигатели часто помѣщаются въ жилыхъ помѣщеніяхъ: 2) отсутствіе надзора и простота ухода, не требующая почти никакихъ техническихъ знаній.

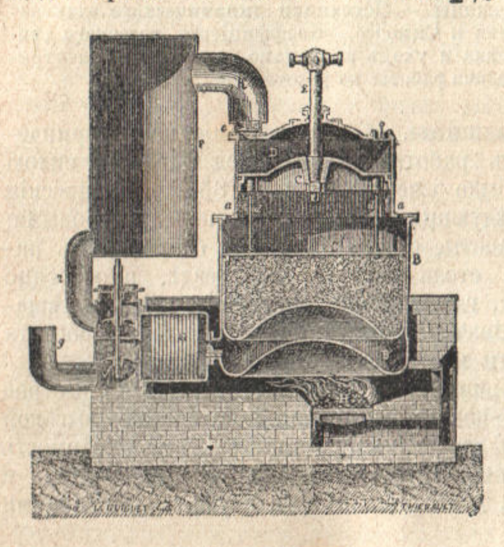
Къ *недостаткамъ* калорическихъ машинъ относятся: 1) быстрое изнашиваніе внутреннихъ подвижныхъ частей вслѣдствіе высокой температуры, необходимой для дѣйствія машинъ; 2) необходимость обильной и дорогой смазки; 3) значительный объемъ, а слѣд., и вѣсъ, рабочаго механизма, дозволяющій имъ служить двигателями только небольшой силы.

Существуетъ весьма много системъ калорическихъ моторовъ, но всѣ эти машины можно раздѣлить на два отдѣла: 1) *открытыя калорическія машины*, въ которыхъ отработавшій воздухъ выпускается въ атмосферу, замѣняясь новымъ объемомъ свѣжаго воздуха. Машины этого рода устраиваются съ *открытою* или *закрытою* топкою. Въ первыхъ продукты горѣнія не смѣшиваются съ рабочимъ воздухомъ, уходя отдѣльно въ трубу; у вторыхъ продукты горѣнія, смѣшавшись съ рабочимъ воздухомъ, входятъ въ рабочій цилиндръ, и, отработавъ, уходятъ вмѣстѣ въ трубу; 2) *замкнутыя* машины, въ которыхъ постоянно работаетъ одинъ и тотъ же объемъ воздуха.

Въ отношеніи раціональности принципа, открытыя машины представляютъ преимущество передъ закрытыми; но простота конструкціи послѣднихъ доставила имъ преимущественное практическое значеніе. Къ *открытымъ калорическимъ машинамъ* съ *открытою топкою* принадлежатъ машины *Эриксона*, *Вильсона*, *Вилькокса*, *Белу*; а съ *закрытою топкою*—машины *Шау*, *Броуна*, *Ро-*

пера, *Гольдорфа* и *Брикнера*, *Гока* и др. Изъ нихъ мы разсмотримъ первую по времени изобрѣтенія—машину *Эриксона*. Изъ *замкнутыхъ машинъ* (*Лоберо*, *Дальтона*, *Лемана*, *Ридера*, *Штернберга*) мы ограничимся описаніемъ конструкціи машины *Лемана*, какъ лучшей и наиболѣе распространенной.

333. Машина Эриксона [1]). Машина эта состоитъ изъ двухъ вертикальныхъ цилиндровъ B и D (фиг. 313), въ которыхъ движутся поршни C и C′, соединенные между собою болтами d; площадь поршня C составляетъ около $^2/_3$ площади поршня C′. Дно цилиндра B, наз. *рабочимъ*, имѣетъ выпуклую форму; такую же совершенно форму имѣетъ дно особаго цилиндра A, подвѣшеннаго подъ рабочимъ поршнемъ C′ и не прилегающаго плотно къ стѣнкамъ цилиндра B; онъ наполненъ худыми проводниками теплоты и назначенъ для предупрежденія лучеиспусканія въ пространство между поршнями, которое сообщено постоянно съ атмосферою (отверстіями a, a), а также для предохраненія набивки рабочаго поршня отъ нагрѣванія. Въ крышкѣ верхняго цилиндра D, наз. *питательнымъ*, помѣщены два клапана c и e, изъ которыхъ первый открывается сверху книзу и сообщаетъ цилиндръ D съ атмосферою, а второй—снизу вверхъ, сообщая питательный цилиндръ съ резервуаромъ F при посредствѣ соединительной трубы K. Легко понять назначеніе цилиндра D. Онъ играетъ роль питательнаго насоса для резервуара F: при опусканіи поршня C надъ нимъ образуется разрѣженное пространство, вслѣдствіе чего наружный воздухъ, открывъ клапанъ c, входитъ въ цилиндръ D; при восходящемъ движеніе поршня клапанъ c закрывается и воздухъ, заклю-



Фиг.. 313.

[1]) Первая идея открытыхъ калорическихъ машинъ принадлежитъ *Карно* (1824). Затѣмъ были произведены опыты англичаниномъ *Стирлингомъ*; но дѣйствительныхъ результатовъ на практикѣ удалось достигнуть *Эриксону*, шведскому капитану, построившему въ 1833 г. первую машину въ 5 силъ, а въ 1853 г. поставившему на кораблѣ своего имени (въ Америкѣ) машину въ 150 силъ.

ченный въ цилиндрѣ D, выталкивается черезъ клапанъ e въ цилиндръ F. Резервуаръ F соединенъ при помощи трубы n съ такъ наз. *генераторомъ* G, играющимъ весьма важную роль въ машинѣ. Генераторъ состоитъ изъ толщи *металлической сѣтки* и сообщенъ постоянно съ рабочимъ цилиндромъ. Между трубкою n и генераторомъ G помѣщается клапанная коробка съ двумя клапанами b и f, изъ которыхъ первый отдѣляетъ генераторъ отъ резервуара F, а второй, будучи открытъ, сообщаетъ его съ атмосферою. Попеременное открыванie и закрыванie клапановъ производится самою машиною при помощи кулачныхъ эксцентриковъ.

Подъ влiянiемъ теплоты, развиваемой топливомъ на рѣшеткѣ H, воздухъ, заключенный между рабочимъ поршнемъ и дномъ цилиндра B, нагрѣвается и, расширяясь, заставляетъ оба поршня двигаться вверхъ. По мѣрѣ разрѣженiя воздуха подъ рабочимъ поршнемъ новое количество его притекаетъ изъ резервуара F черезъ клапанъ b и генераторъ G и, нагрѣваясь въ свою очередь, производитъ работу расширенiемъ. При обратномъ движенiи поршень выталкиваетъ отработавшiй воздухъ черезъ генераторъ и клапанъ f въ атмосферу; клапанъ b закрытъ. При этомъ происходитъ всасыванie воздуха въ цилиндръ D. Генераторъ нагрѣвается на счетъ теплоты отработавшаго воздуха. При слѣдующемъ размахѣ поршня, воздухъ, пройдя изъ резервуара F черезъ генераторъ, будетъ поступать въ рабочiй цилиндръ уже нѣсколько нагрѣтымъ, Такимъ образомъ, генераторъ служитъ источникомъ экономiи топлива. Прямолинейное качальное движенie поршня передается главному валу при помощи коромысла, сочлененнаго со штокомъ E.

Изъ этого описанiя видно, что машина Эриксона простаго дѣйствiя, такъ какъ упругая сила нагрѣтаго воздуха производитъ только восходящее движенie поршня; нисходящее же движенie, какъ и въ атмосферической машинѣ Ньюкомена, производится давленiемъ наружнаго воздуха и вѣсомъ поршня.

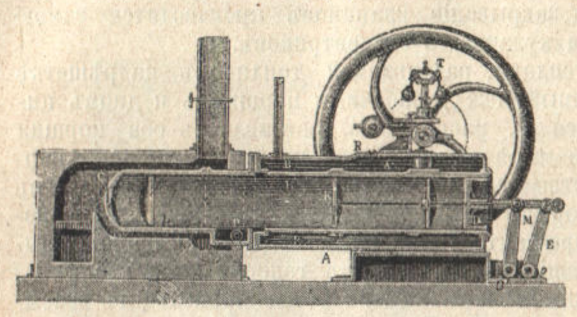
По опытамъ произведеннымъ въ Гаврѣ надъ машиною Эриксона, оказалось, что она требуетъ 2,5 klg угля на 1 паровую лош. въ часъ; слѣд., тепловое полезное дѣйствie ея (§ 272) $k_t=0,037$, т. е. около $3,7\%$ запаса работы, заключающагося въ топливѣ. Такимъ образомъ, машина Эриксона въ этомъ отношенiи не превосходитъ хорошей паровой машины; вслѣдствie же сложности конструкцiи, быстраго изнашиванiя внутреннихъ подвижныхъ частей, а также некомпактности всего устройства, она вышла уже изъ употребленiя.

334. Машина Лемана. [1]). Между существующими калорическими моторами машина Лемана получила самое обширное распро-

[1]) Первая идея закрытыхъ калорическихъ машинъ относится еще къ 1827 г. и принадлежитъ англич. Стирлингу. Впослѣдствiи фр. инж. Лоберò построилъ на этомъ принципѣ первую калорическую машину, которая довольно долго пользовалась практическимъ примѣненiемъ.

страненіе. Устройствомъ своимъ она напоминаетъ нѣсколько машину Эриксона, но отличается тѣмъ, что оба цилиндра, рабочій и питательный, соединены въ одинъ, при чемъ на рабочій поршень давитъ всегда холодный воздухъ, вслѣдствіе чего онъ изнашивается не такъ скоро.

Главную часть машины составляетъ открытый горизонтальный чугунный цилиндръ АА (фиг. 314), снабженный двойными стѣнками, между которыми безпрерывно протекаетъ холодная вода. Цилиндръ А выполняетъ роль рабочаго цилиндра и соединенъ со стаканомъ С, который служитъ резервуаромъ для нагрѣтаго воздуха. Задняя часть стакана С погружена въ кладку печи и постоянно охватывается пламенемъ, нагрѣвающ. его до краснаго каленія. Въ передней части рабочаго цилиндра движется поршень D, сообщающій качальное движеніе рычагу Е, укрѣпленному на оси О. На той же оси укрѣпленъ другой рычагъ, который посредствомъ шатуна передаетъ движеніе валу маховика. Рабочій поршень снабженъ кожаною набивкою, запирающею цилиндръ А до тѣхъ поръ, пока давленіе внутри его больше наружнаго, но какъ только внутреннее давленіе понизится за атмосферное, кожаный воротникъ открываетъ наружному воздуху доступъ внутрь цилиндра. Внутри цилиндра АС находится длинное ныряло LL, имѣющее видъ пустотѣлаго, герметически закрытаго цилиндра, склепаннаго изъ тонкаго листоваго желѣза. Къ нырялу прикрѣпленъ штокъ, пропущенный нѣсколько во внутрь его и для прочности соединенный со скрѣпляющею внутреннею перегородкою К. Снаружи этотъ штокъ проходитъ черезъ рабочій поршень, въ которомъ для этой цѣли устроенъ сальникъ, и соединяется съ рычагомъ М, качающимся около оси O′. Послѣдняя получаетъ свое колебательное движеніе, соотвѣтствующее размаху ныряла, отъ вала маховика при посредствѣ системы: рычага, насаженнаго на оси O′, шатуна и небольшаго кривошипа. Между стѣнками ныряла и цилиндра А оставленъ узкій кольцеобразный зазоръ, дозволяющій воздуху легко переходить, при движеніи ныряла, изъ нагрѣвателя въ рабочій цилиндръ и обратно. Для избѣжанія тренія ныряла о стѣнки рабочаго цилиндра, оно опирается на роликъ Р, который свободно катается вмѣстѣ съ нырядомъ.



Фиг. 314.

Дѣйствіе машины состоитъ въ слѣдующемъ. При движеніи ныряла взадъ—впередъ, заключенный въ цилиндрѣ объемъ воздуха перегоняется поочередно то въ нагрѣватель, то въ рабочій цилиндръ, причемъ воздухъ то расширяется, то сжимается. Расширяясь, воздухъ заставляетъ рабочій поршень двигаться впередъ; при сжатіи же поршень движется назадъ дѣйствіемъ инерціи маховика, который поэтому долженъ имѣть большой вѣсъ. Движеніе обоихъ поршней находится въ строгой взаимной зависимости. Кривошипы рабочаго поршня и ныряла образуютъ между собою нѣкоторый уголъ. Когда рабочій поршень находится въ правой мертвой точкѣ, то ныряло уже перешло свою правую мертвую точку. Воздухъ имѣетъ тогда наибольшій объемъ. Затѣмъ оба поршня движутся назадъ, но съ разными скоростями. Ныряло движется очень скоро, вслѣдствіе чего давленіе воздуха на рабочій поршень быстро падаетъ и воздухъ перегоняется изъ нагрѣвателя въ рабочій цилиндръ. Рабочій поршень движется еще назадъ, когда ныряло перешло уже лѣвую мертвую точку. Когда же рабочій поршень перейдетъ лѣвую мертвую точку, то ныряло, продолжая двигаться впередъ, быстро перегоняетъ холодный воздухъ изъ рабочаго цилиндра къ нагрѣвателю, такъ что рабочій поршень совершаетъ обратный ходъ подъ усиленнымъ давленіемъ, и т. д.

Регулированіе хода машины совершается центробѣжнымъ регуляторомъ Т, который въ однѣхъ машинахъ сообщается съ клапаномъ, выпускающимъ, при увеличеніи скорости машины, часть нагрѣтаго воздуха, а въ другихъ—съ тормозомъ, дѣйствующимъ на маховое колесо.

Какъ показали опыты, механическій коэфф. полезнаго дѣйствія машинъ Лемана составляетъ около 0,60. Расходъ топлива равенъ 4 klg. каменнаго угля въ одинъ часъ на одну паровую лошадь. Преимущества этой машины составляютъ простата ухода и спокойный ходъ; къ недостаткамъ относятся: малая сила, сравнительно съ ея размѣрами, и большой расходъ воды для охлажденія. Машины Лемана строятся силою отъ $^1/_{12}$ до 4 пар. лош.

335. Газовыя машины. [1]) Основаніемъ дѣйствія газовыхъ машинъ служитъ упругая сила, развивающаяся при сгораніи газовой взрывчатой смѣси. Для работы газовыхъ машинъ въ настоящее время употребляется почти исключительно смѣсь воздуха и

---

[1]) Въ 1673 г. голл. ученый Гюйгенсъ въ сотрудничествѣ съ Папеномъ устроилъ поршневую машину, послужившую образцомъ для паровой машины Папена, и дѣйствовавшую упругою силою пороховыхъ газовъ. Первая же поршневая газовая машина была устроена въ 1794 г. англ. Стритомъ. Первое примѣненіе свѣтильнаго газа для работы газ. маш. (1799) принадлежитъ Лебону, изобр. газоваго освѣщенія. Но практическое значеніе газовыя машины пріобрѣли въ началѣ 60-хъ годовъ, къ которымъ относится изобрѣтеніе газовыхъ машинъ Ленуара и Гюгона.

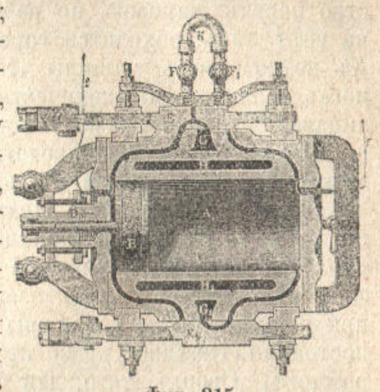
свѣтильнаго газа въ пропорціи 10 до 12 объемовъ перваго на одинъ объемъ втораго. Въ сравненіи съ паровыми, газовыя машины представляютъ тѣ же преимущества, что и калорическія. Онѣ лучше утилизируютъ теплоту, нежели паровыя машины. Лучшія современныя газовыя машины расходуютъ въ 1 часъ 1 куб. м. свѣт. газа на 1 паровую лошадь полезной работы, что соотвѣтствуетъ приблизительно 6,000 ед. т.; тогда какъ лучшія паровыя машины расход. 1 klg. угля, т. е. болѣе 7,000 ед. т. Существенный недостатокъ газовыхъ машинъ, подобно калорическимъ, составляетъ необходимость искусственнаго охлажденія внутреннихъ подвижныхъ частей машины, вслѣдствіе высокой температуры, неизбѣжно развивающейся внутри рабочаго цилиндра во время работы машины.

Всѣ существующія газовыя машины можно отнести къ слѣдующимъ двумъ классамъ: 1) *машины прямаго дѣйствія*, въ которыхъ давленіе горячихъ газовъ на рабочій поршень непосредственно передается валу маховика. Сюда принадлежатъ машины *Ленуара*, *Гюгона*, *Бишопа*, *Отто*, машины большой силы *Герда*, машины съ постепеннымъ горѣніемъ смѣси *Симона* и проч.; 2) газовыя машины *непрямаго* дѣйствія, въ которыхъ сожиганіе газовой смѣси служитъ только средствомъ для образованія пустоты въ рабочемъ цилиндрѣ, а самая работа производится атмосфернымъ давленіемъ, почему такія машинъ наз. обыкновенно *атмосферическими* газовыми машинами. Сюда принадлежатъ машины *Лангена-Отто*, *Жилля*, *Вертгейма* и др. Машины второй категоріи представляютъ самые экономичные двигатели: онѣ расходуютъ меньше 1 куб. м. свѣтильнаго газа на 1 пар. л. въ 1 часъ времени. Мы опишемъ машины Ленуара и Лангена-Отто, какъ пріобрѣвшія на практикѣ наибольшую извѣстность.

336. Машина Ленуара. Въ 1860 г. фр. инженеръ Ленуаръ построилъ первую газовую машину, нашедшую себѣ практическое примѣніе и возбудившую большой интересъ новизною идеи. Она работала смѣсью свѣт. газа и воздуха въ пропорціи 2 — 5 частей газа на 98 — 95 ч. воздуха. Воспламененіе смѣси производилось посредствомъ электрической искры, для полученія которой служили два элемента Бунзена и индукціонная катушка Румкорфа. Движущею силою служила упругость продуктовъ горѣнія, мгновенно расширявшихся вслѣдствіе образованія огромнаго количества теплоты.

Машина Ленуара представляетъ полное сходство съ горизонтальною паровою машиною. Внутри рабочаго цилиндра A (фиг. 315) движется обыкновенный поршень B, который поср. штока C, шатуна и кривошипа передаетъ движеніе валу маховика. На этомъ валу насажены два кулачные эксцентрика, сообщающіе движеніе двумъ плоскимъ золотникамъ E и E_1, расположеннымъ по обѣимъ

сторонамъ цилиндра и служащимъ: первый для впуска въ цилиндръ газовой смѣси, второй—для выпуска продуктовъ горѣнія. Газопроводная труба K развѣтвляется въ видѣ вилки, каждая вѣтвь которой снабжена краномъ (F и F_1); послѣдніе должны быть установлены такимъ образомъ, чтобы количество газа къ количеству воздуха, вступающаго въ цилиндръ по каналу G, было въ отношеніи 2: 98. Цилиндръ имѣетъ двойныя стѣнки HH, между которыми постоянно протекаетъ холодная вода, предохраняющая его отъ слишкомъ сильнаго нагрѣванія. Черезъ каждую крышку цилиндра пропущены изолированныя (платиновыя или мѣдныя) проволоки fx,f'y, которыя при каждомъ ходѣ поршня посредствомъ простаго приспособленія, сообщались съ проводниками баттареи, служащей для полученія искры.



Фиг. 315.

Работа машины весьма проста. Газовая смѣсь всасывается въ цилиндръ вслѣдствіе образованія пустоты при движеніи поршня. На фигурѣ представлено положеніе поршня въ лѣвой мертвой точкѣ. При движеніи его вправо, дѣйствіемъ инерціи маховика, газовая смѣсь входитъ въ лѣвую часть цилиндра. Вмѣстѣ съ поршнемъ движется вправо золотникъ E, который прекращаетъ впускъ смѣси, когда поршень пройдетъ $^1/_4$ до $^1/_3$ своего хода. Въ моментъ отсѣчки газовая смѣсь воспламеняется, причемъ поршень продолжаетъ движеніе дѣйствіемъ силы взрыва. Въ теченіе всего хода поршня вправо золотникъ E_1 остается почти въ покоѣ, сообщая правую часть цилиндра съ каналомъ G_1, черезъ который продукты горѣнія уходятъ въ атмосферу. Къ концу хода поршня выпускной золотникъ E_1 быстро передвигается влѣво, установивъ сообщеніе лѣвой части цилиндра съ каналомъ G_1; при этомъ между поршнемъ и крышкою цилиндра остается часть продуктовъ горѣнія, которая играетъ роль буффера. Когда поршень дойдетъ до правой мертвой точки, впускной золотникъ E, продолжающій движеніе вправо, устанавливаетъ впускъ газовой смѣси въ правую часть цилиндра. Затѣмъ поршень и золотникъ начинаютъ двигаться влѣво дѣйствіемъ инерціи маховика. На $^1/_4$ — $^1/_3$ части хода прекращается впускъ смѣси и въ моментъ отсѣчки производится снова воспламененіе смѣси посредствомъ электрической искры.

Машины Ленуара строились отъ $^1/_2$ до 20 силъ; но въ настоящее время почти вышли изъ употребленія, вслѣдствіе дороговизны паровой лошади, такъ какъ онѣ требуютъ отъ 2,5 до 3 куб. м.

газа на 1 пар. лош. въ часъ; между тѣмъ какъ 1 куб. м. газа стоитъ почти въ 8 разъ дороже 1 klg. угля. Поэтому, хотя въ отношенiи утилизацiи тепла машина Ленуара имѣетъ преимущество передъ паровою, но работа ея, при существующихъ цѣнахъ на свѣт. газъ, обходится гораздо дороже работы паровой машины. Къ неудобствамъ машины Ленуара должно отнести еще потребность значительнаго количества холодной воды для охлажденiя цилиндра, обильной смазки, частаго ремонта подвижныхъ частей машины, въ особенности золотниковъ, и необходимость содержанiя электрической баттареи въ постоянной исправности.

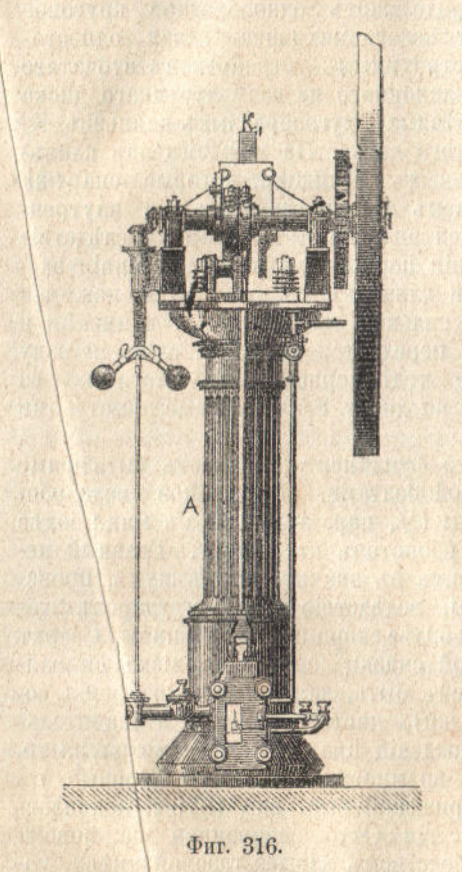
Впослѣдствiи машина Ленуара была усовершенствована франц. инженеромъ Гюгономъ, машина котораго силою до 2 пар. лош. успѣшно работала на парижской выставкѣ 1867 г. Въ этой машинѣ зажиганiе смѣси, вмѣсто электрической баттареи, производилось при помощи двухъ подвижныхъ запальниковъ, зажигавшихся отъ постоянно горѣвшихъ, по сторонамъ золотника, двухъ газовыхъ рожковъ. Сверхъ того, для болѣе совершеннаго охлажденiя стѣнокъ цилиндра, во внутрь послѣдняго впрыскивалось, въ моментъ взрыва, небольшое количество воды, пары которой доставляли также работу расширенiемъ, что отразилось на уменьшенiи расхода газа до 2 куб. м. на лошадь. Такой же, все еще значительный, расходъ газа представляла машина Гюгона, работавшая на парижской выставкѣ 1878 г. и въ которой скорость движенiя регулировалась центробѣжнымъ регуляторомъ, дѣйствовавшимъ на кранъ въ газопроводной трубѣ

337. Атмосферическая машина Лангена-Отто Машина эта, появившаяся на парижской выставкѣ 1867 г., принадлежитъ къ числу самыхъ экономическихъ газ. машинъ: расходъ газа въ послѣднихъ усовершенствованныхъ машинахъ Лангена-Отто равенъ отъ 0,75 до 1 куб. метр. въ 1 часъ на пар. лошадь. Принципъ дѣйствiя этой машины основанъ на примѣненiи, какъ въ машинѣ Ньюкомена (§ 305), работы атмосфернаго давленiя, вслѣдствiе искусственно полученной пустоты, образующейся при сгоранiи газовой смѣси.

Устой машины образуетъ пустая внутри чугунная колонна A, открытая сверху (фиг. 316) и играющая роль рабочаго цилиндра, имѣющаго двойныя стѣнки, между которыми постоянно протекаетъ холодная вода. Внутри цилиндра движется обыкновенный поршень, прочно соединенный съ зубчатою рейкою K_1, замѣняющею штокъ и сцѣпляющеюся съ зубчатымъ колесомъ Z, насаженнымъ на валъ маховика (фиг. 317).

Машина эта простаго дѣйствiя: газовая смѣсь пускается только подъ поршень. Газораспредѣленiе производится однимъ плоскимъ золотникомъ, который при началѣ хода поршня впускаетъ въ цилиндръ газовую смѣсь, всасываемую движенiемъ поршня, а затѣмъ

зажигаетъ ее устроеннымъ въ немъ подвижнымъ запальникомъ. Надлежащее движенiе золотнику сообщается при помощи эксцентрика, насаженнаго на отдѣльный валъ, установленный сбоку, параллельно приводному валу, отъ котораго онъ получаетъ вращенiе при помощи пары цилиндрическихъ зубчатыхъ колесъ. Газъ приводится



Фиг. 316.

Фиг. 317.

къ золотнику тремя трубками, изъ которыхъ одна питаетъ цилиндръ, вторая питаетъ подвижный запальникъ, а третья — газовый рожокъ, постоянно горящiй. При каждомъ зажиганiи газовой смѣси въ цилиндрѣ потухаетъ пламя подвижнаго запальника въ золотникѣ, но въ надлежащiй моментъ вновь зажигается отъ постоянно горящаго рожка. При взрывѣ поршень подбрасывается къ верхней части цилиндра. Образующiеся при этомъ водяные пары весьма быстро конденсируются подъ влiянiемъ охлаждающей воды, причемъ обратный ходъ поршень совершаетъ подъ дѣйствiемъ собственнаго вѣса и атмосфернаго давленiя; при самомъ концѣ хода онъ выталкиваетъ изъ цилиндра не сгустившiеся продукты горѣнiя. Въ газоотводной трубѣ поставленъ клапанъ, поэтому продукты горѣнiя должны получить, до выпуска, упругость большую атмосферной, чтобы открыть этотъ клапанъ. Остающаяся въ цилиндрѣ небольшая часть продуктовъ горѣнiя играетъ полезную роль буфера, предупреждающаго ударъ поршня о дно цилиндра.

При движенiи поршня вверхъ и внизъ зубчатая рейка K_1 сообщаетъ круговое возвратное движенiе зубчатому колесу Z, которое передаетъ приводному валу, однако, только нисходящее движенiе; быстрое же восходящее движенiе поршня, при взрывахъ газовой смѣси, производитъ только обратное холостое вращенiе колеса Z; приводный же валъ продолжаетъ однообразное круговое движенiе, благодаря инерцiи тяжелаго маховика. Такая односторонняя передача достигается остроумнымъ устройствомъ зубчатаго колеса Z. Оно состоитъ изъ заклиненнаго на валу чугуннаго диска S, на который наложены 5 желѣзныхъ дугообразныхъ клиньевъ K, могущихъ скользить вокругъ этого диска. На каждомъ изъ клиньевъ находится по шести стальныхъ роликовъ, которые снаружи охватываются зубчатымъ вѣнцемъ Z, снабженнымъ на внутренней поверхности кривыми эксцентрическими вырѣзами. Вслѣдствiе такого устройсва, при движенiи поршня внизъ, внутреннiя эксцентрическiя поверхности его и клиньевъ сближаются и, нажимая на роликъ, производятъ столь сильное тренiе между клиньями и дискомъ, что движенiе колеса передается диску, а, слѣд., и валу маховика. При обратномъ же ходѣ поршня и зубчатаго колеса клинья K свободно скользятъ по диску S, толкаемые выступами зубчатаго вѣнца Z.

Машина не требуетъ особаго фундамента, а можетъ быть прямо прикрѣплена къ полу мастерской болтами. Нормальное число оборотовъ машины небольшой силы ($^1/_4$ пар. л.)—120 въ мин.; болѣе сильныя машины дѣлаютъ 90 оборотовъ въ минуту. Главный недостатокъ этихъ машинъ состоитъ въ значительномъ шумѣ, производимомъ ими во время работы, вслѣдствiе тренiя и ударовъ зубчатыхъ сцѣпленiй, особенно при болѣе скоромъ ходѣ машины. Сверхъ того, машина требуетъ обильной смазки (за исключенiемъ сцѣпляющаго прибора, который долженъ быть, для увеличенiя тренiя совершенно свободенъ отъ смазки), частаго ремонта и значительнаго количества воды для охлажденiя цилиндра. Не смотря на то, машины эти быстро разошлись во многихъ странахъ Европы.

338. Машина Отто. На парижской выставкѣ 1878 г. появилась газовая машина прямаго дѣйствiя Отто, основанная на новомъ принципѣ развитiя работы посредствомъ взрыва газовой смѣси, находящейся подъ давленiемъ выше атмосфернаго.

Индикаторныя дiаграммы, снятыя съ газовой машины Ленуара, ясно показали, что по причинѣ малаго количества и незначительной плотности горючихъ газовъ, работа при ихъ расширенiи получается ничтожная; большая часть теплоты, развивающейся при взрывѣ, теряется въ водѣ, охлаждающей стѣнки цилиндра. Въ машинѣ Отто сильно сжатые предварительно (самою машиною) газы развиваютъ послѣ взрыва большую упругость, а по причинѣ значительной ихъ плотности теплота распредѣляется на большее ко-

личество частичекъ газа и не такъ скоро теряется охлажденіемъ стѣнокъ цилиндра, вслѣдствіе чего и работа расширенія горячихъ газовъ выходитъ гораздо болѣе.

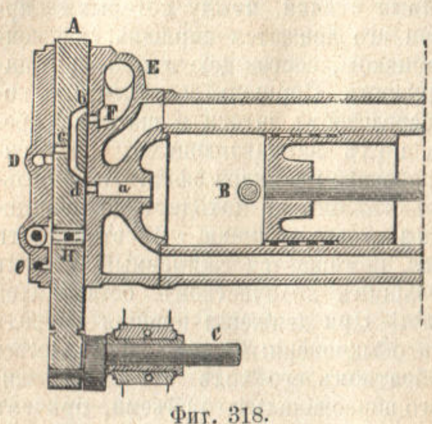
Общее устройство машины Отто напоминаетъ горизонтальную паровую машину простаго дѣйствія. Рабочій цилиндръ, открытый съ одной стороны, имѣетъ двойныя стѣнки, между которыми циркулируетъ холодная вода. Внутри его движется поршень, снабженный плотною металлическою набивкою, состоящею изъ 5—6 тщательно пригнанныхъ колецъ—пружинъ. Поршень соединенъ съ колѣнчатымъ валомъ маховика посредствомъ штока и шатуна, крестовина котораго скользитъ въ двухъ направляющихъ, укрѣпленныхъ къ основной рамѣ. Длина рабочаго цилиндра значительно больше величины хода поршня, такъ что онъ не доходитъ до дна цилиндра почти на половину длины своего размаха. Въ этой части цилиндра, наз. *камерою сжатія*, помѣщается сжимаемый объемъ газовой смѣси, вмѣстѣ съ небольшимъ количествомъ остающихся неудаленными продуктовъ горѣнія. При движеніи поршня впередъ всасывается въ цилиндръ, подъ обыкновеннымъ давленіемъ, смѣсь воздуха и свѣт. газа, а при обратномъ его ходѣ эта смѣсь сжимается почти до $^1/_3$ части своего первоначальнаго объема, причемъ поршень движется въ обоихъ случаяхъ только вслѣдствіе инерціи маховаго колеса. Когда поршень только что начинаетъ проходить свою мертвую точку, происходитъ зажиганіе смѣси подвижнымъ запальникомъ, причемъ расширяющіеся вслѣдствіе взрыва газы движутъ поршень снова впередъ, а маховое колесо пріобрѣтаетъ новый запасъ живой силы. При обратномъ ходѣ поршень удаляетъ продукты горѣнія изъ цилиндра. Такимъ образомъ, въ работѣ машины Отто надо различать 4 періода: 1) всасываніе смѣси; 2) сжатіе ея; 3) взрывъ и 4) удаленіе продуктовъ горѣнія, соотвѣтствующіе 4 ходамъ поршня, изъ которыхъ только одинъ производитъ полезную работу, а три остальные совершаются на счетъ инерціи маховика, который, конечно, долженъ быть весьма массивенъ и дѣлать большое число оборотовъ въ минуту [1]).

Газораспредѣлительный механизмъ состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ частей. Впускъ и зажиганіе газовой смѣси исполняются плоскимъ золотникомъ А (фиг. 318), движущимся по гладко обструганной крышкѣ цилиндра и дѣлающимъ двойной ходъ въ теченіе 4 размаховъ поршня. Выпускъ продуктовъ горѣнія производится отверстіемъ В, сдѣланнымъ въ нижней части цилиндра и закрытымъ клапаномъ. Золотникъ получаетъ движеніе отъ небольшаго кривошипа, насаженнаго на концѣ отдѣльнаго вала С, который установленъ сбоку рабочаго цилиндра и получаетъ вращеніе отъ главнаго вала при помощи пары коническихъ колесъ. Выпускной клапанъ,

---

[1]) Напр., для 4 сильной машины вѣсъ маховика равенъ 25 пуд.

открывающійся снизу вверхъ, приподымается своевременно особымъ колѣнчатымъ рычагомъ, получающимъ движеніе отъ кулачнаго эксцентрика, заклиненнаго на томъ же распредѣлительномъ валу C; запираніе клапана производится автоматически при помощи пружины. Впускъ и зажиганіе газовой смѣси производятся черезъ центральный каналъ a, сдѣланный въ крышкѣ цилиндра. Притокъ газа къ золотнику происходитъ по каналу D, сдѣланному въ крышкѣ золотника, которая нажата къ нему посредствомъ двухъ крѣпкихъ пружинъ и 4 болтовъ; притокъ воздуха къ золотнику происходитъ по трубѣ E и каналу F. При соотвѣтственномъ движеніи золотника и поршня, газъ и воздухъ поступаютъ черезъ отверстія b и c колѣнчатаго канала bcd, сдѣланнаго въ золотникѣ и открывающагося къ крышкѣ цилиндра отверстіемъ d. Въ моментъ, когда установится сообщеніе канала bd съ каналомъ a, газовая смѣсь всасывается въ цилиндръ. Сквозной каналъ H, сдѣланный въ золотникѣ, служитъ запальникомъ—для передачи огня внутрь цилиндра. Притокъ свѣт. газа для питанія запальника происходитъ по каналу e; а зажиганіе производится постоянною горѣлкою, поставленною въ углубленіи золотниковой крышки.



Фиг. 318.

Расходъ газа въ машинѣ Отто среднимъ числомъ равенъ 1 куб. м. въ 1 ч. на 1 пар. л. Такой сравнительно небольшой расходъ свѣт. газа, а также простота и компактность устройства, плавный и тихій ходъ, легкость пусканія въ ходъ, для чего достаточно зажечь газовый рожокъ въ крышкѣ золотника и повернуть нѣсколько разъ маховикъ, ставятъ машину Отто въ практическомъ и экономическомъ отношеніяхъ выше всѣхъ существующихъ газовыхъ машинъ. Онѣ строятся силою отъ $^1/_2$ до 12 пар. лош.

Въ послѣднее время стали устраивать *сдвоенныя* машины системы *Отто*, въ которыхъ при каждомъ оборотѣ работаетъ одинъ поршень. Этотъ двигатель вполнѣ годенъ для динамо-машинъ.

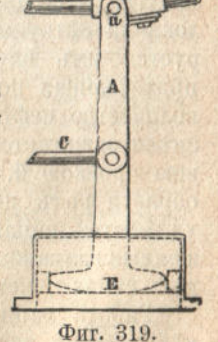
Изъ другихъ газовыхъ машинъ, работающихъ сжатымъ газомъ, наиболѣе замѣчательна машина шотландскаго инж. *Гёрда*, какъ по простотѣ и компактности ея конструкціи, сходной съ горизонтальною паровою машиною, такъ и по величинѣ работы, которую она въ состояніи развить (отъ $^1/_2$ до 50 пар. л.).

339. Нефтяныя машины. Въ нефтяныхъ машинахъ работа

производится упругою силою горячихъ газовъ, образующихся при сожиганіи жидкихъ углеводородовъ (легкихъ нефтяныхъ маслъ: газолина, сыраго бензина, лигроина и др.), получающихся при перегонкѣ нефти.

Нефтяныя машины, представляя вообще большую аналогію съ калорическими и газовыми машинами, имѣютъ преимущество передъ газовыми въ томъ отношеніи, что не зависятъ отъ присутствія въ данной мѣстности свѣтильнаго газа [1]). Въ отношеніи экономіи работы, нефтяныя машины, съ усовершенствованіемъ ихъ конструкціи, дозволяющей примѣнять въ дѣло самые дешевые сорта нефтяныхъ продуктовъ, могутъ занять несомнѣнно первое мѣсто между малосильными моторами. Къ числу спеціальныхъ недостатковъ нефтяныхъ машинъ относится необходимость большой осторожности при обращеніи съ легкими нефтяными маслами, по причинѣ большой ихъ летучести и способности легко воспламеняться.

Между существующими нефтяными машинами, по обширному практическому примѣненію, простотѣ конструкціи и экономіи работы, первое мѣсто занимаетъ горизонтальная машина *Брайтона*, получившая на парижской выставкѣ 1878 г. золотую медаль. Работа въ этой машинѣ получается безъ всякаго участія взрыва, а только вслѣдствіе давленія горячихъ газовъ, образующихся при постепенномъ сгораніи, по мѣрѣ притока въ цилиндръ, воздуха, насыщеннаго жидкими углеводородами. Машина Брайтона двойнаго дѣйствія съ горизонтальнымъ цилиндромъ, внутри котораго движется чугунный пустотѣлый поршень, передающій свое движеніе, посредствомъ двухъ эксцентричныхъ штоковъ и шатуна, колѣнчатому валу маховика. Подъ рабочимъ цилиндромъ помѣщенъ другой цилиндръ, исполняющій роль насоса, накачивающаго сжатый воздухъ въ рабочій цилиндръ. Весьма остроумную часть этой машины представляетъ способъ передачи движенія штоку воздушнаго насоса, значительно упрощающій ея конструкцію. Оба поршневые штока B,B (фиг. 319) и шатунъ D надѣты на общую ось a, пропущенную черезъ верхній вилообразный конецъ вертикальнаго рычага A, къ которому прикрѣпленъ также штокъ C пневмати-

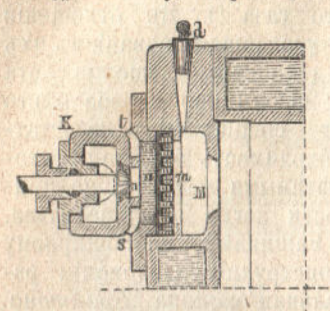


Фиг. 319.

[1]) Примѣненіе вмѣсто свѣт. газа *карбюрированнаго* воздуха, т. е. воздуха, насыщеннаго парами легкихъ углеводородовъ (нефтяныхъ дистилатовъ: газолина, бензина и проч.), хотя и могло бы повліять на повсемѣстное распространеніе газовыхъ моторовъ, но вслѣдствіе необходимости для карбюрираціи воздуха особаго прибора, а также по причинѣ дороговизны употребляемыхъ для этой цѣли жидкихъ углеводородовъ, которые должны быть болѣе легки и болѣе чисты, нежели употребляемые для нефтяныхъ машинъ, работа машинъ, дѣйствующихъ карбюрированнымъ воздухомъ, выходитъ значительно дороже работы нефтяныхъ машинъ.

ческаго насоса. Нижнiй конецъ рычага имѣетъ цилиндрическую форму и свободно опирается на плоскость E, такъ что при его качанiи конецъ штока B всегда описываетъ горизонтальную прямую линiю. Такимъ образомъ, передаточный рычагъ A играетъ въ тоже время роль направляющихъ для штока.

Въ верхнихъ частяхъ каждой изъ крышекъ устроены камеры M (фиг. 320), служащiя для впуска смѣси воздуха и нефтянаго масла. Въ этихъ камерахъ помѣщаются рѣшетчатыя дiафрагмы m, состоящiя изъ двухъ металлическихъ дырчатыхъ пластинокъ, между которыми помѣщена тонкая проволочная сѣтка. Кольцеобразное пространство n заполнено войлочнымъ кружкомъ, впитывающимъ въ себя нефть, которая постоянно накачивается по каналу s особымъ насосомъ, получающимъ движенiе отъ эксцентрика, насаженнаго на главный валъ машины. Воздухъ изъ воздушнаго насоса притекаетъ въ камеру K, откуда выходитъ сильною струею черезъ отверстiе u; притокъ воздуха регулируется коническимъ клапаномъ, открыванiе котораго исполняется особымъ рычагомъ, получающимъ движенiе отъ центробѣжнаго регулятора. Струя воздуха, выходящая изъ отверстiя u, пережимаетъ нефть изъ войлока на сѣтку дiафрагмы, въ видѣ пѣны, которая затѣмъ пульвезируется имъ внутрь цилиндра. Наконецъ, тонкая струя воздуха, притекающая постоянно по каналу t, пульверизируетъ небольшое количество нефти сквозь дiафрагму m; тонкая струя эта горючей смѣси зажигается за дiафрагмой черезъ отверстiе, закрытое винтовою пробкою d, и не потухаетъ уже во время работы машины, образуя родъ постоянной внутренней горѣлки. Отработавшiе газы удаляются поршнемъ черезъ отверстiя въ крышкахъ цилиндра, снабженныя клапанами. Оба цилиндра, рабочiй и воздушный имѣютъ двойныя стѣнки, между которыми постоянно протекаетъ холодная вода.



Фиг. 320.

Работа машины сходна съ работою паровой машины двойнаго дѣйствiя съ расширенiемъ. Нефтяной насосъ постоянно накачиваетъ горючую жидкость по каналу s въ цилиндръ, а воздушный— по каналу t воздухъ, поддерживающiй за металлическою сѣткою небольшое пламя во все время работы машины. При началѣ хода поршня (вправо) открывается воздуховпускной каналъ u; сильная струя воздуха, пробившись сквозь сѣтку и пропитавшись горючими углеводородами, сейчасъ же загорается: поршень движется подъ давленiемъ горячихъ газовъ. Приблизительно на $^1/_4$ хода клапанъ u закрывается, вслѣдствiе чего прекращается дальнѣйшiй притокъ воздуха, а также и пульверизацiя нефти: поршень продолжаетъ дви-

гаться уже подъ вліяніемъ расширяющихся газовъ. При обратномъ движеніи поршня работа расширенія производится въ правой части цилиндра, а продукты горѣнія изъ лѣвой части выталкиваются въ отводную трубу.

Машины Брайтона строятся отъ $^1/_3$ до 10 и болѣе пар. лош. Онѣ отличаются быстрымъ ходомъ, очень спокойны и экономичны: расходъ нефтяной жидкости составляетъ менѣе 0,5 литра на 1 пар. л. въ часъ.

340. Источники динамическаго электричества. [1]) Всѣ приборы, служащіе для образованія электрическаго тока, могутъ быть раздѣлены на три класса: 1) *гальваническіе элементы и баттареи*, въ которыхъ химическая энергія преобразуется въ электрическую; 2) *термодинамическія баттареи*, превращающія непосредственно теплоту въ электричество и 3) *электродинамическія машины*, превращающія механическую работу (паровыхъ машинъ, тюрбинъ) въ электрическую энергію.

---

[1]) Около 600 л. до Р. Х. *Ѳалесъ* изъ *Милета* замѣтилъ, что если потереть *янтарь* (ἤλεκτρον) то онъ пріобрѣтаетъ свойство притягивать легкія тѣла Въ концѣ XVI в. докторъ *Джильбертъ* (изъ Кольчестера) открылъ, что тѣмъ же свойствомъ обладаютъ многія тѣла) стекло, резина, шелкъ, смола, алмазъ и пр. Тѣла эти онъ назвалъ *электрическими*, а причину, производившую эти явленія, *электричествомъ*. Въ 1733 г. фр. физикъ Дюфэ открылъ существованіе двухъ родовъ электричествъ: *положительнаго*, проявляющагося на стеклѣ при натираніи его шелкомъ, и *отрицательнаго*, проявляющагося на янтарѣ или резинѣ при натираніи ихъ фланелью. Онъ же установилъ факты *притяженія* разноименныхъ и *отталкиванія* одноименныхъ электричествъ. Это электричество, развиваемое *треніемъ*, наз. *статическимъ электричествомъ*. Первая электрическая машина была построена *Отто Герике*; она состояла изъ вращавшагося шарообразнаго куска сѣры, который подвергался тренію объ ладонь руки. Въ теченіе 23 вѣковъ, до конца XVIII ст., было извѣстно только статическое электричество, которое не имѣло почти никакихъ техническихъ примѣненій. Но съ открытіемъ ит. уч. *Гальвани* въ 1790 г. *динамическаго электричества* и другимъ ит. физикомъ *Вольта* перваго *генератора* динамическаго электричества—*вольтова столба* (1800 г.), начинается эра безчисленныхъ и плодотворныхъ примѣненій *электрическихъ токовъ*. Вскорѣ послѣ столба Вольта были изобрѣтены наиболѣе употребительные нынѣ гидроэлектрическіе генераторы тока, или такъ наз. *элементы* (вольтова столба): *Даніеля* (1836), *Грове* (1839), *Бунзена* (1840), *Маріе-Даві* (1859), *Лекланше* (1868) и др. Въ іюлѣ 1820 г. датскій физикъ *Эрстедъ* показалъ, что электрическій токъ и магнитъ производятъ одинаковыя дѣйствія на магнитную стрѣлку. Это открытіе, установивъ полную аналогію между электричествомъ и магнитизмомъ, послужило исходною точкою цѣлому ряду открытій въ этихъ двухъ областяхъ физики. Въ томъ же году 20 сентября *Амперъ* открылъ *взаимодѣйствіе токовъ* и дѣйствіе земли на токи, а пять дней спустя *Араго* открылъ дѣйствіе токовъ на мягкое желѣзо или сталь, поведшее къ устройству *электромагнитовъ*. Наконецъ, въ довершеніе работъ Эрстеда, Ампера и Араго, англ. физ. *Фарадэй* открылъ въ 1831 г., что если приблизить быстро магнитъ къ катушкѣ, обмотанной изолированною проволокой, то въ послѣдней появляется токъ; если затѣмъ остановить магнитъ—токъ изчезаетъ; а при удаленіи магнита появляется снова, но въ направленіи, обратномъ предыдущему.

Въ гальваническихъ баттареяхъ цинкъ играетъ роль горючаго матеріала; но цинкъ при равномъ вѣсѣ стоитъ въ 15 разъ дороже каменнаго угля и развиваетъ въ 5 разъ менѣе теплоты. Вслѣдствіе небольшаго максимума работы, доставляемаго даже значительнымъ числомъ совокупныхъ элементовъ, и дороговизны единицы работы, баттареи примѣняются только для такихъ работъ, въ которыхъ электричество играетъ роль болѣе быстротою, нежели энергіей, какъ, напр., для *телеграфовъ*, *телефоновъ*, *электрическихъ*, *звонковъ*, *электромедицинскихъ приборовъ*, *лабораторныхъ опытовъ* и пр.

Термоэлектрическія машины, представляя интересъ въ томъ отношеніи, что превращаютъ *непосредственно* теплоту въ электричество и развиваютъ силу весьма быстро, въ одну или двѣ минуты, отличаются незначительнымъ полезнымъ дѣйствіемъ (4—8%) и слабой энергіей, а потому примѣняются только, для *физическихъ опытовъ* и небольшихъ промышленныхъ операцій какъ-то: *золоченія*, *сребренія* и *никкелированія*.

Наиболѣе многостороннее примѣненіе, какъ генераторы электричества, особенно въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ въ результатѣ должны получаться калоріи и работа (*гальванопластика*, *электрическое освѣщеніе*, *передача работы на разстоянія*), имѣютъ *электродинамическія машины*, подраздѣляющіяся на *магнитоэлектрическія* и *динамоэлектрическія машины* или *динамо-машины*. И тѣ и другія имѣютъ два необходимыхъ органа: 1) *индукторъ*, т. е органъ, производящій индукцію тока и 2) *индукціонный апаратъ*, въ ко-

---

Тѣ же явленія происходятъ въ присутствіи двухъ замкнутыхъ цѣпей, по одной изъ которыхъ пробѣгаетъ токъ (*первичная цѣпь*): въ моментъ *приближенія* первичной цѣпи къ другой замкнутой цѣпи въ этой послѣдней появляетъ токъ; *обратный* первичному току; *при остановкѣ* первичной цѣпи вторичный токъ прекращается; *при удаленіи* первичной цѣпи появляется во вторичной цѣпи снова токъ, но уже *прямой*, т. е. одинаково направленный съ первичнымъ токомъ. Эти токи, развивающіеся въ замкнутыхъ цѣпяхъ дѣйствіемъ магнита или другихъ токовъ, наз. *индукціонными* токами, а магнитъ или токъ, зарождающій ихъ наз. *индукторами*. Вскорѣ послѣ открытія Фарадэя ит. уч. *Пикси* построилъ (1832) первую *машину-генераторъ* электрическаго тока, въ которой подковообразный магнитъ быстро вращался (около вертикальной оси) подъ катушками электромагнита, при чемъ электромагнитъ то намагничивался, то размагничивался, вслѣдствіе чего въ теченіе каждаго полуоборота въ его обмоткѣ появлялся токъ послѣдовательно разнаго направленія. Для того чтобы во внѣшнемъ проводникѣ получить токъ постояннаго направленія, *Пикси* устроилъ въ своей машинѣ особое приспособленіе (*коммутаторъ*), который устанавливалъ въ началѣ каждаго полуоборота поперемѣнно то прямое, то перекрестное соединеніе вѣтвей наружной цѣпи съ вѣтвями обмотки электромагнита, такъ что направленіе тока въ наружномъ проводникѣ оставалось постояннымъ. Вскорѣ послѣ машины Пикси появилось много другихъ электродинамическихъ машинъ, изъ коихъ наибольшее распространеніе имѣютъ машины *Грамма* и *Сименса*.

торомъ развиваются наведенные токи [1]). Заставляя вращаться индукторъ передъ индукціоннымъ аппаратомъ, или чаще, послѣдній передъ первымъ, получаютъ *токи, тѣмъ болѣе сильные, чѣмъ больше скорость вращенія.* Въ магнитоэлектрическихъ машинахъ индукторомъ служитъ простой магнитъ въ динамомашинахъ—электромагнитъ. Мы разсмотримъ устройство динамомашинъ, получившихъ на пратикѣ исключительное распространеніе, какъ электрическіе двигатели.

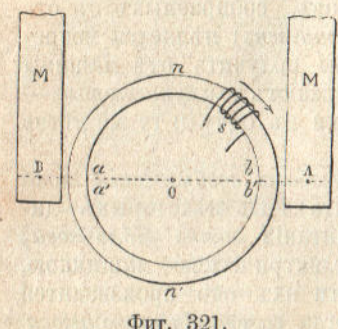
Динамо-машины раздѣляются на *машины постояннаго тока* и *машины перемѣннаго тока.* Первыя посылаютъ во внѣшнюю цѣпь токъ одного и того же направленія, у вторыхъ же направленіе тока (составнаго изъ многихъ токовъ, собираемыхъ съ отдѣльныхъ индукціонныхъ аппаратовъ—*катушекъ*) мѣняется непрерывно (до 30000 разъ въ минуту). Чтобы получить отъ машины перемѣннаго тока постоянный токъ, ее снабжаютъ *коммутаторомъ*—приборомъ, направляющимъ отдѣльные токи въ одну и ту же вѣтвь внѣшней цѣпи.

Динамо-машины различаются еще *способомъ возбужденія тока* въ индукторѣ (въ обмоткѣ электромагнита). Въ нѣкоторыхъ динамомашинахъ (перемѣннаго тока—для питанія *ламнъ Яблочкова*) это возбужденіе производится особою электрическою машинкою, наз. *возбудителемъ,* но въ большей части ихъ оно производится самою динамомашиною, которая наз. тогда *самовозбуждающеюся.* Принципъ самовозбужденія былъ открытъ въ 1867 г. одновременно *Уитстономъ* и *Сименсомъ*, которые показали, что если соединить обмотку электромагнита (индуктора) съ обмоткою индукціоннаго аппарата, то при вращеніи послѣдняго въ немъ возбуждается слабый индукціонный токъ отъ незначительнаго *остаточнаго магнитизма* въ электромагнитѣ. Токъ этотъ, будучи переданъ обмоткѣ электромагнита, усилитъ его магнитизмъ, вслѣдствіе чего въ индукціономъ аппаратѣ возбудятся болѣе сильные токи, и такимъ образомъ происходитъ рядъ взаимодѣйствій, который постепенно увеличиваетъ *силу тока* до нормальной его величины. Существуютъ динамомашины, въ которыхъ примѣнены обѣ системы возбужденія — отдѣльный возбудитель и самовозбужденіе; такія машины наз. *компаундъ-машинами.*

[1]) Первый значительный опытъ примѣненія электричества для произведенія механической работы былъ сдѣланъ въ 1839 г. русск. академикомъ *Якоби*, который примѣнилъ баттарею Грове въ 120 элементовъ для движенія шлюпки по Невѣ. Съ тѣхъ поръ было сдѣлано весьма много новыхъ попытокъ, но вслѣдствіе указанныхъ выше недостатковъ—дороговизны единицы работы и громоздкости баттареи—электрическіе двигатели, питаемые баттареей, получили до сихъ поръ лишь весьма ограниченное примѣненіе, именно только для такихъ случаевъ, когда требуется развитіе работы, не превышающей нѣсколькихъ килограмметровъ, какъ, напр., для движенія швейныхъ машинъ (двигатель *Грискома*) и т. п.

341. Динамо-машина Грамма. Машины Грамма строятся постояннаго и перемѣннаго тока; послѣднія изготовляются исключительно для питанія свѣчей Яблочкова и потому разсмотрѣніе ихъ выходитъ изъ рамокъ настоящаго курса.

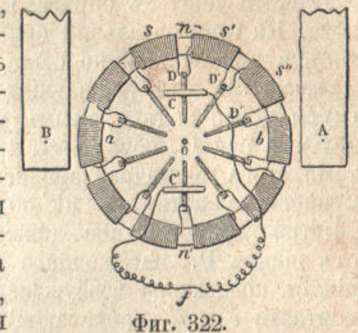
Существенную часть *машины Грамма постояннаго тока* составляетъ такъ наз. *кольцо Грамма* [1]), сдѣланное изъ мягкаго желѣза, обернутаго спиралью изъ изолированной мѣдной проволоки, и представляющее *индукціонный аппаратъ* машины. Для уясненія принципа дѣйствія машины Грамма предположимъ, что кольцо помѣщено между двумя концами подковообразнаго магнита МВАМ (фиг. 321) такимъ образомъ, что его горизонтальный діаметръ совпадаетъ съ линіею АВ, соединяющей полюсы магнита. Послѣдній намагнититъ черезъ вліяніе желѣзное кольцо и притомъ такимъ образомъ, что въ послѣднемъ образуются два двойныхъ полюса a,a′ и b,b′, обратныхъ полюсамъ В и А магнита; въ n и n′ будутъ нейтральныя точки. Вообразимъ теперь, что на кольцо намотана небольшая спираль s изъ изолированной мѣдной проволоки и что этой спирали сообщаются небольшія последовательныя перемѣщенія по кольцу по направлен. стрѣлки. Соединивъ концы спирали съ гальванометромъ, замѣтимъ, что при всякомъ перемѣщеніи спирали въ ней появляется наведенный токъ, направленіе котораго остается постояннымъ въ теченіе полуоборота nbb′n′; въ теченіе же полуоборота n′aa′n направленіе тока обратное предыдущему. Сила тока въ обоихъ случаяхъ тѣмъ меньше, чѣмъ дальше витокъ отстоитъ отъ индуктирующихъ полюсовъ. Если теперь, вмѣсто того чтобы заставлять спираль скользить по кольцу, мы заставимъ это послѣднее вращаться около оси О, перпендикулярной къ его плоскости, то произойдутъ тѣ же явленія: полюсы a и b будутъ существовать въ тѣхъ же неподвижныхъ точкахъ и спираль будетъ перемѣщаться по отношенію къ нимъ совершенно также, какъ и прежде. Намотаемъ затѣмъ на кольцо цѣлый рядъ спиралей, подобныхъ s (фиг. 322). При вращеніи кольца въ каждомъ виткѣ индуктируется токъ и такимъ образомъ количество электричества, наведенное въ обмоткѣ кольца, значительно увеличится. Если соединимъ между собою витки правой полуокружности, то отдѣльные токи этихъ витковъ, слагаясь одинъ съ другимъ, дадутъ общій



Фиг. 321.

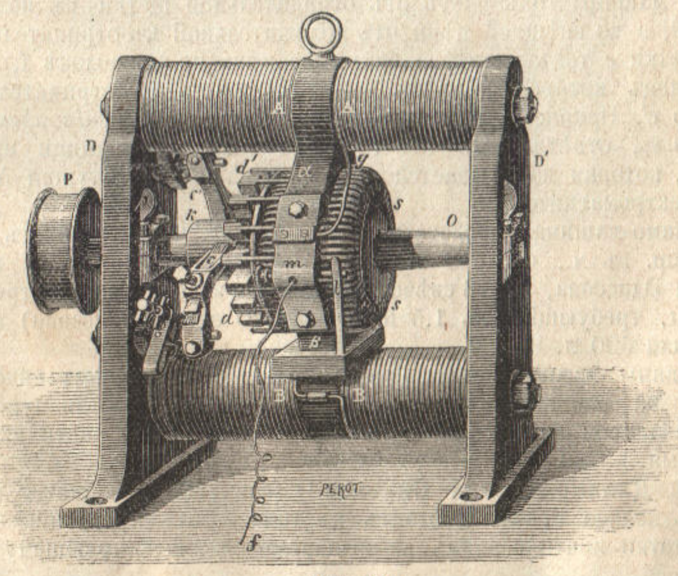
[1]) Кольцо это было изобрѣтено ит. уч. *Пачинотти* въ 1861 г. и примѣнено къ устройству электромагнитной машины. Грамму принадлежитъ честь успѣшнаго примѣненія какъ этого кольца, такъ и принципа самовозбужденія къ устройству динамо-машинъ.

токъ, равный силою суммѣ всѣхъ ихъ; точно также въ соединенной обмоткѣ лѣвой половины кольца будетъ пробѣгать токъ, равный суммѣ всѣхъ наведенныхъ въ каждомъ отдѣльномъ виткѣ токовъ. Оба эти тока будутъ, очевидно, равны по величинѣ, но направлены противоположно другъ другу. Чтобы собрать токи, наведенные въ спиральяхъ, припаиваютъ къ концу одной спирали и началу другой (смежной) мѣдныя радіальныя пластинки D,D′..., которыя участвуютъ во вращательномъ движеніи кольца; а въ точкахъ C и C′ устанавливаютъ по нейтральной линіи nn′ два металлическихъ неподвижныхъ контакта, съ которыми постоянно соприкасается та или другая изъ радіальныхъ пластинокъ. Такимъ образомъ контакты будутъ непрерывно собирать составные токи, доставляемые лѣвой и правой половиною обмотки кольца; оба эти тока сольются въ одинъ составной токъ во внѣшнемъ проводникѣ f.



Фиг. 322.

342. Въ машинѣ Грамма (фиг. 323) вмѣсто магнитовъ упо-



Фиг. 323.

требляютъ въ качествѣ индукторовъ два электромагнита AB и A′B′, такъ какъ магнитное дѣйствіе ихъ, при одинаковомъ вѣсѣ, почти

въ 25 разъ больше дѣйствія простыхъ магнитовъ. Электромагниты AB, A'B' укрѣплены въ вертикальныхъ чугунныхъ стойкахъ D,D', образующихъ станину машины; одноименные полюсы ихъ A,A' и B,B' заключены въ оправахъ α и β, сдѣланныхъ изъ мягкаго желѣза. На горизонтальной оси O, параллельной осямъ электромагнитовъ и проходящей по серединѣ между ними, установлено *кольцо Грамма ss*. Всѣ радіальныя пластинки d,d'... этого кольца изогнуты влѣво подъ прямымъ угломъ, такъ что концы ихъ, параллельные оси O, образуютъ цилиндръ k; промежутки между элементами этого цилиндра заполнены изолирующею прокладкою. Совокупность пластинокъ dk образуетъ собою такъ наз. *коллекторъ*. Быстрое вращательное движеніе кольцо и коллекторъ получаютъ отъ шкива P, насаженнаго на лѣвомъ концѣ оси O. Для собиранія съ коллектора возбуждаемаго въ кольцѣ тока установлены два контакта c и c', прикасающіеся постоянно къ тѣмъ производящимъ коллектора, которые находятся въ нейтральной плоскости. Каждый контактъ состоитъ изъ пучка гибкихъ мѣдныхъ пластинокъ и наз. *щеткою*, которая, во избѣжаніе перерыва тока, располагается такъ, чтобы касаться одновременно нѣсколькихъ пластинокъ коллектора. *Щетки динамо-машины* соотвѣтствуютъ полюсамъ баттареи и наз. одна *положительною*, другая *отрицательною*. Принимаютъ, что внутри машины токъ идетъ отъ отрицательной щетки къ положительной, а во внѣшней цѣпи отъ положительной къ отрицательной. Отъ щетки c токъ идетъ во внѣшнюю цѣпь по проволокѣ f, другой конецъ которой долженъ быть соединенъ съ отрицательною щеткою c'. Наконецъ, токъ, необходимый *для возбуженія электромагнитовъ*, отвѣтвляется отъ главнаго тока при помощи проволоки g, которая наматывается послѣдовательно на катушки AA' и BB' электромагнитовъ.

Динамо-машина, представленная на фиг. 323, требуетъ при 900 обор. въ м., около 3 п. л. и можетъ питать 25 лампъ накаливанія Эдиссона, въ 16 свѣчей каждая. На заводѣ Грамма строятся машины, требующія отъ 1,5 п. л. (для 10 лампъ Эдиссона) до 65 п. л. (для 500 л. Эд.).

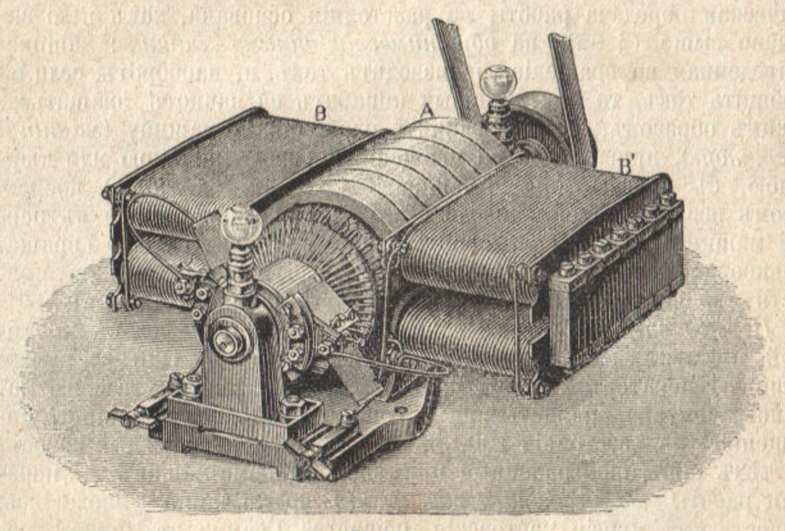
Машины, изготовляемыя Граммомъ для передачи механической работы на разстоянія, имѣютъ форму, нѣсколько отличную отъ представленной на фиг. 323, но главныя составныя части ихъ тѣ же самыя.

343. Динамо-машина Сименса [1]) (фиг. 324). Главный недостатокъ кольца Грамма состоитъ въ томъ, что внутреннія части его обмотки почти совсѣмъ не подвергаются индуктирующему дѣй-

[1]) Машина эта была конструирована инж. завода Сименса, *Гефнеръ-Альтенекомъ*, который впервые примѣнилъ въ ней индукціонный аппаратъ, изобрѣтенный Сименсомъ еще въ 1856 г.

ствію электромагнитовъ, представляя собою напрасное сопротивленіе. Въ индукціонномъ аппаратѣ A *(катушкѣ)* машины Сименса эта потеря устранена въ значительной части тѣмъ, что кольцо замѣнено длиннымъ цилиндрическимъ стержнемъ (изъ мягкаго желѣза), на который проволока намотана по направленію его производящихъ. Обмотка катушки Сименса состоитъ изъ восьми отдѣльныхъ частей *(секцій)* и снабжена коллекторомъ и щетками, совершенно подобными граммовскимъ. Для возбужденія электромагнитовъ B и B′ отъ главнаго тока отвѣтвляется побочный токъ.

Машины Сименса (постояннаго тока) строятся двухъ типовъ: *горизонтальныя* (фиг. 324)—съ горизонтальными электромагнитами,



Фиг. 324.

344. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія динамо - машинъ и уходъ за ними. *Коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія* электрической машины наз. отношеніе развиваемой ею электрической энергіи къ механической работѣ, затрачиваемой на ея движеніе. Въ большинствѣ динамо-машинъ онъ достигаетъ 90%. Главныя потери энергіи —*треніе въ оси* и такъ наз. *токи Фуко́*, которые неизбѣжно возбуждаются въ желѣзѣ электромагнитовъ и индукціонныхъ аппаратовъ. Однако не всею электрическою энергіею, развивающеюся въ динамо-машинѣ мы можемъ воспользоваться во внѣшней цѣпи. Большая или меньщая часть ея превращается въ самой машинѣ въ теплоту, вслѣдствіе сопротивленія обмотки ея. Относительная
и *вертикальныя*, у которыхъ электромагниты расположены вертикально—одинъ подъ катушкою, другой надъ нею.

величина этой потери уменьшается съ уменьшенiемъ сопротивленiя машины—съ увеличенiемъ ея размѣровъ.

Что касается *установки* и *ухода за динамо-машинами*, то ихъ должно устанавливать въ сухихъ помѣщенiяхъ—на прочномъ фундаментѣ, для избѣжанiя всякихъ сотрясенiй. Вращенiе катушки должно быть по возможности равномѣрное. Главная задача ухода состоитъ въ недопущенiи значительнаго нагрѣванiя машины и содержанiи ея, въ особенности коллектора, въ возможно большей чистотѣ. Наконецъ, во избѣжанiе порчи обмотки катушекъ, никогда не слѣдуетъ внезапно размыкать главный токъ, не остановивши предварительно машины.

345. Электрическая передача работы на разстоянiя. Электрическая передача работы на разстоянiя основана, какъ было замѣчено выше (§ 85), на *обратимости динамо-машинъ*: машина, приведенная во вращенiе, производитъ токъ, и, наоборотъ, если ей сообщить токъ, то индукцiонный аппаратъ ея начнетъ вращаться. Такимъ образомъ, если соединить одну динамо-машину (*машинугенераторъ*), приводимую во вращенiе паровою машиною или тюрбиною, съ другою динамо-машиною (*машина-прiемникъ*) посредствомъ изолированной проволоки, то токъ, развивающiйся въ первой машинѣ передастся второй машины и приведетъ ее во вращательное движенiе. Вторая машина, въ свою очередь, можетъ привести въ движенiе какую нибудь рабочую машину (станокъ).

Первый опытъ въ этомъ направленiи былъ произведенъ на вѣнской выставкѣ 1873 г. Фонтэномъ и Граммомъ. Они заставили машину-генераторъ Грамма, приводимую въ движенiе газовою машиною Ленуара, вращать при помощи второй динамо-машины, помѣщенной на разстоянiи 1000 м., небольшой центробѣжный насосъ. Съ тѣхъ поръ промышленныя примѣненiя динамо-машинъ для передачи работы *на небольшiя разстоянiя* чрезвычайно умножились. Существуютъ многiя мастерскiя (общества Грамма въ Парижѣ, ремесленной школы въ С. Шамонѣ, пушечнолитейнаго завода въ Руэлѣ и др.), въ которыхъ ременная передача замѣнена электрическою. Изъ отдѣльныхъ примѣровъ электрической передачи укажемъ на примѣненiе ея для дѣйствiя подъемныхъ *крановъ* (на заводѣ Фаркó въ С. Дени), *вентиляторовъ* (для вентиляцiи городской ратуши въ Парижѣ и центральной школы искусствъ и ремеслъ), *для тяги вагоновъ* въ каменноугольныхъ копяхъ въ Оппелѣ (въ Саксонiи), *для тяги пассажирскихъ вагоновъ по электрической желѣзной дорогѣ*, устроенной Симменсомъ въ 1883 г. въ Ирландiи на протяженiи 10,5 километровъ и т. п. Какъ показываютъ опыты, пользованiе электрической передачею сопровождается потерею приблизительно въ 50%.

Что же касается электрической передачи работы *на большiя разстоянiя*, то въ *экономическомъ отношенiи* вопросъ этотъ еще далекъ отъ окончательнаго разрѣшенiя.

III.

РАБОЧІЯ МАШИНЫ.

---

346. Классификація рабочихъ машинъ. Подъ именемъ *рабочихъ машинъ* разумѣютъ машины, имѣющія непосредственное назначеніе исполнять ту или другую операцію, входящую въ составъ даннаго техническаго производства. Для своего движенія рабочія машины пользуются работою какой-либо машины-двигателя, которая передается имъ, съ извѣстною потерею, при помощи приводовъ. Такимъ образомъ, по отношенію къ фабрикѣ или заводу, имѣющихъ въ основаніи данное техническое производство, рабочія машины играютъ роль исполнительныхъ механизмовъ; но взятыя отдѣльно, въ свою очередь распадаются, какъ и всякая машина, на три главныя составныя части: 1) пріемникъ (рабочій шкивъ, рабочее колесо и т. п.), 2) передаточные механизмы и 3) исполнительный механизмъ или собственно *орудіе* (рѣзецъ, пила, рабочій поршень и пр.). Устройство рабочихъ машинъ чрезвычайно разнообразно и иногда весьма сложно, обусловливаясь цѣлью той механической операціи, для исполненія которой машина назначена; но всѣ рабочія машины могутъ быть раздѣлены, по ихъ назначенію, на двѣ большія группы: 1) *машины для передвиженія тѣлъ* и 2) *машины для измѣненія ихъ вида*.

Машины первой группы въ свою очередь распадаются на слѣдующіе три класса: 1) *подъемныя машины*, служащія для передвиженія и подъема твердыхъ и сыпучихъ тѣлъ (*рычаги*, *блоки*, *полиспасты*, *домкраты*, ручные и гидравлическіе, *шпили*, *вороты* и *краны*, ручные, гидравлическіе и паровые, *элеваторы* или механизмы, служащіе для подъема строевыхъ матеріаловъ, товаровъ, хлѣба, угля и руды......); 2) *водоподъемныя машины* или машины для передвиженія и подъема воды (*насосы* всякаго рода, *гидравлическій баранъ*, *пульзометръ*.....) и 3) *воздуходувныя машины* или машины для передвиженія воздуха (*воздуходувки*, *вентиляторы*......)

Къ машинамъ второй группы относятся: 1) *машины для измельченія тѣлъ* (*мукомольныя машины*, *бѣгуны*, *толчеи*, *дробильные валки*.....); 2) *машины для грубой и чистой обработки металловъ и дерева* (*гидравлическій прессъ*, *молота*, ручные, рычажные и паровые, *прокатныя* и *волочильныя* машины, *лѣсопильныя машины*, *станки:* токарные, сверлильные, строгательные, доблежные....., винторѣзныя и дыропробивательныя машины...); 3) *станки для обработки шерсти, льна, хлопка и бумаги* (*волкъ-машины*, *ткацкіе станки*, *ленточныя и кардъ-машины*, *вязальныя*, *швейныя машины*...); 4) *земледѣльческія машины* (*сѣялки*, *жатвенныя машины*, *сѣнокосилки*, *вѣялки*, *молотилки*, *соломорѣзки*.....).

Изученіе этихъ машинъ относится къ области *механической технологіи* и *сельскохозяйственной механики*, подробно разсматривающихъ тѣ операціи, которыя исполняются этими машинами. Въ двухъ слѣдующихъ главахъ мы ознакомимся съ водоподъемными машинами и мукомольнымъ поставомъ, представляющими примѣры пользованія механическою работою, имѣющіе наиболѣе общій интересъ.

ГЛАВА XV.

Водоподъемныя машины.

Мукомольный поставъ.

Насосы.—Всасывающіе насосы.—Ручной всасывающій насосъ.—Объемъ воды, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ сек., и работа, потребная для его движенія.—Насосъ съ утолщеннымъ истокомъ.—Главнѣйшіе размѣры всасывающаго насоса.—Нагнетательные насосы; воздушный колоколъ.—Пожарная помпа.—Объемъ воды, накачиваемый нагнетательнымъ насосомъ въ сек., и работа, потребная для его движенія.—Центробѣжная помпа.—Круговращательные насосы. — Архимедовъ винтъ. — Гидравлическій баранъ. — Пульзометръ.—Мукомольный поставъ и его части.—Задачи.

347. Насосы. Всѣ существующіе насосы могутъ быть раздѣлены на два класса: 1) *насосы съ прямолинейнымъ движеніемъ* и 2) *насосы съ вращательнымъ движеніемъ*. Къ послѣднимъ относятся *центробѣжныя помпы* и такъ наз. *круговращательные* насосы.

Насосы съ прямолинейнымъ движеніемъ представляютъ наиболѣе употребительныя водоподъемныя машины и состоятъ, каждый изъ чугуннаго или деревяннаго цилиндра (*стакана*), въ которомъ плотно движется *поршень*, и *двухъ трубъ*, снабженныхъ *клапанами* и сообщающихъ стаканъ: одна съ нижнимъ, а другая съ верхнимъ резервуаромъ. Первая труба наз. *всасывающею*, а вторая—*нагнетательною* или *подъемною;* тѣже названія получаютъ и ихъ кла-

паны. Въ томъ случаѣ, когда стаканъ насоса погруженъ въ нижній резервуаръ, всасывающая труба становится излишнею; ея и не дѣлаютъ, но всасывающій клапанъ существуетъ и въ этомъ случаѣ. По устройству поршня эти насосы можно раздѣлить на два типа: 1) *насосы со сквознымъ поршнемъ* и 2) *насосы съ глухимъ* (сплошнымъ) *поршнемъ*. Перваго рода насосы наз. обыкновенно *всасывающими*, а втораго рода—*нагнетательными*. Отверстія, дѣлаемыя въ поршнѣ насоса перваго рода, снабжаются клапанами; такого рода насосы могутъ быть только *простаго* дѣйствія, между тѣмъ какъ нагнетательные насосы могутъ быть и *простаго* и *двойнаго* дѣйствія. У всасывающихъ насосовъ иногда не бываетъ подъемной трубы: вода изъ стакана выливается прямо въ верхній резервуаръ.

По способу передачи движенія поршневые насосы раздѣляются на: 1) *ручные насосы* (фиг. 332), приводимые въ движеніе рабочимъ, при помощи рычага или рукоятки съ маховикомъ и зубчатою передачею; 2) *приводные насосы*, приводимые въ движеніе эксцентрикомъ, насаженнымъ на главный валъ паровой машины (фиг. 290 и 309), или получающіе движеніе отъ передаточнаго вала при помощи ременнаго привода и т. п.; 3) *паровые насосы*, получающіе движеніе непосредственно отъ продолженнаго штока паровой машины.

348. Всасывающіе насосы (фиг. 325—продольный разрѣзъ). A—есть чугунный цилиндръ *(стаканъ)* насоса; B—*поршень*, снабженный клапанами b,b, открывающимися снизу вверхъ; C—*всасывающая труба;* a—*всасывающій клапанъ*, открывающійся внутрь стакана.

При началѣ дѣйствія насоса, когда поршень находится въ нижнемъ положеніи, всѣ клапаны закрыты; всасывающая труба, а также зазоръ, существующій между всасывающимъ клапаномъ и поршнемъ, или такъ наз. *вредное пространство* [1]), наполнены воздухомъ, имѣющимъ атмосферное давленіе. Вслѣдствіе этого вода во всасывающей трубѣ стоитъ на одномъ уровнѣ съ нижнимъ резервуаромъ. Положимъ, что поршень сдѣлалъ первый размахъ вверхъ. При этомъ воздухъ, находившійся во вредномъ пространствѣ расширится, при чемъ давленіе его значительно уменьшится; но давленіе во всасывающей трубѣ равно атмосферному. Если разность давленій снизу и сверху на всасывающій клапанъ будетъ больше его вѣса, то онъ откроется, причемъ часть воздуха изъ всасывающей трубы перейдетъ въ

Фиг. 325.

[1]) Какъ и въ паровыхъ машинахъ, *вредное пространство* насосовъ, оставляется съ цѣлью устранить удары поршня о дно стакана, могущіе произойти, напр., вслѣдствіе увеличенія длины штока и другихъ случайныхъ причинъ.

стаканъ; давленіе въ трубѣ понизится, вслѣдствіе чего вода въ ней поднимется на нѣкоторую высоту. При обратномъ движеніи поршня воздухъ, находящійся въ стаканѣ, начнетъ сжиматься, всасывающій клапанъ закроется, а поршневые откроются, когда давленіе сжимаемаго воздуха сдѣлается болѣе атмосфернаго, и выпустятъ часть воздуха изъ нижней части цилиндра, такъ что когда поршень дойдетъ до самаго нижняго своего положенія, то воздухъ во вредномъ пространствѣ опять будетъ имѣть давленіе атмосферное, какъ и при началѣ перваго восходящаго движенія. При слѣдующемъ размахѣ воздухъ во всасывающей трубѣ еще болѣе разрѣдится, вода поднимется въ ней на бо́льшую высоту и т. д.

На фиг. 325 представленъ тотъ моментъ, когда изъ всасывающей трубы выкачанъ уже весь воздухъ, и вода доходитъ въ ней до клапана a, такъ что при слѣдующемъ размахѣ поршня вверхъ вода, открывъ клапанъ a, начнетъ наполнять стаканъ. При обратномъ ходѣ поршня клапанъ a закроется, а клапаны b откроются, причемъ вода, находящаяся подъ поршнемъ, перельется черезъ клапанныя отверстія поршня въ верхнюю часть цилиндра. Каждый слѣдующій подъемъ поршня будетъ сопровождаться уже не только всасываніемъ воды въ стаканъ, но и поднятіемъ воды, находящейся надъ поршнемъ.

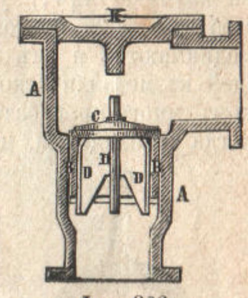
Вертикальная высота h_0 отъ уровня нижняго резервуара до всасывающаго клапана наз. *высотою всасыванія.* Такъ какъ атмосферное давленіе способно уравновѣсить столбъ воды высотою въ 10,3340 м. = 33,87 фут., то, если бы во всасывающей трубѣ можно было образовать безвоздушное пространство, высота всасыванія могла бы быть равна 10,3340 м. Въ дѣйствительности, для возможности дѣйствія насоса, высота всасыванія должна быть менѣе 10,3340 м. и при томъ тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе высота вреднаго пространства и чѣмъ тяжелѣе всасывающій клапанъ. Въ практикѣ, въ виду существованія гидравлическихъ сопротивленій при движеніи воды по всасывающей трубѣ и при проходѣ черезъ клапанъ, высота всасыванія допускается не болѣе 7,5 м. для металлическихъ трубъ, а для деревянныхъ не болѣе 6 м.

349. *Насосные цилиндры,* дѣлаются обыкновенно изъ чугуна и лишь въ видѣ исключеній изъ бронзы; ставъ ручныхъ всасывающихъ насосовъ высверливается въ сосновыхъ или дубовыхъ стволахъ, которые служатъ въ то же время и всасывающею трубою.

Клапаны состоятъ изъ слѣдующихъ главныхъ частей: 1) *клапанной коробки*, обыкновенно чугунной, снабженной крышкою, черезъ которую устанавливается и осматривается отъ времени до времени клапанъ; 2) *сѣдла*, почти всегда латуннаго, во избѣжаніе ржавчины; сѣдло неподвижно и служитъ опорою для клапана, и 3) собственно *клапана*—подвижной части, назначенной для поочереднаго закрыванія и открыванія трубы. Клапаны дѣлаются *ме-*

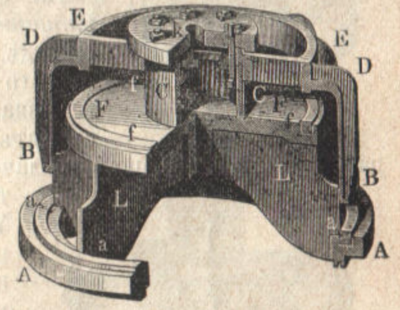
таллическіе (изъ чугуна и бронзы), *кожаные* и *каучуковые*, весьма разнообразной формы.

На фиг. 326 представленъ *коническій* или *тарелочный клапанъ.* A есть чугунный кожухъ, B—латунное коническое сѣдло, C—латунный же клапанъ, обточенный по конусу и хорошо притертый къ своему сѣдлу; D,D—направляющія ребра, отлитыя заодно съ клапаномъ и плотно пригнанныя къ сѣдлу; они обезпечиваютъ правильное движеніе клапана, a, слѣд., и плотное закрываніе отверстія трубы; K—крышка клапанной коробки, снабженная внизу выступомъ, ограничивающимъ подъемъ клапана; высота подъема дѣлается обыкновенно равною $^1/_4$ діаметра трубы.

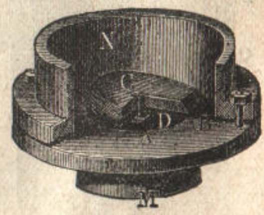


Фиг. 326.

Въ большихъ насосахъ ставятся клапаны съ нѣсколькими сѣдлами (*сложные клапаны*), чѣмъ достигается уменьшеніе высоты подъема клапана, при томъ же объемѣ всасывающей воды, съ цѣлью уменьшить потерю воды обратно черезъ клапанъ и ослабить ударъ клапана о сѣдло. На фиг. 327 изображенъ клапанъ съ 2 сѣдлами системы *Гарвея.* Клапанъ BDE имѣетъ форму колокола и опирается на два кольцеобразныя чугунныя сѣдла AA и FF, скрѣпленныя между собою отлитыми заодно съ ними ручками L,L и образующія такъ наз. *стулъ клапана.* Заодно со стуломъ отлитъ небольшой цилиндрическій выступъ CC, тщательно обточенный (какъ и ручки LL) и охватываемый плотно втулкою клапана. Цилиндръ этотъ и ручки играютъ роль *направляющихъ* для клапана. На чертежѣ клапанъ представленъ въ самомъ верхнемъ его положеніи; вода, всосанная снизу, можетъ проходить вверхъ, вопервыхъ, черезъ кольцеобразное отверстіе BABA, и вовторыхъ—сверху сѣдла FF черезъ верхнія отверстія клапана. При паденіи клапанъ, садится на вставныя кольца *aa* и *ff*, сдѣланныя изъ мягкаго малоржавѣющаго металла.



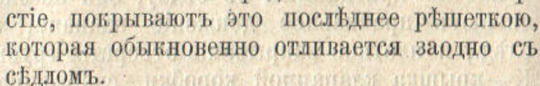
Фиг. 327.



Фиг. 328.

Кожаный и *каучуковый* клапаны представлены на фиг. 328 и 331, II. *Кожаный клапанъ* состоитъ изъ кружка толстой воловьей кожи B, укрѣпленнаго сверху и снизу желѣзными накладками C и D,

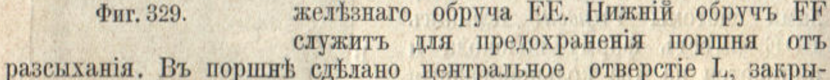
соединенными болтомъ или двумя заклепками. Назначеніе накладокъ—сообщить клапану надлежащую прочность и способность выдерживать давленіе воды. *Каучуковый* клапанъ состоитъ изъ кружка каучука V_1V_1, удерживаемаго на сѣдлѣ чашкою F_1, притянутою къ сѣдку болтомъ. При давленіи воды снизу края клапана поднимаются и онъ получаетъ видъ шаровой воронки, прилегающей къ металлической чашкѣ F_1, которая не позволяетъ ему слишкомъ много прогибаться. Каучуковые клапаны не укрѣпляются никогда накладками, но чтобы клапанъ не продавливался въ отверстіе, покрываютъ это послѣднее рѣшеткою, которая обыкновенно отливается заодно съ сѣдломъ.



Фиг. 329.

350. *Поршни насосовъ* дѣлаются обыкновенно изъ чугуна, а въ простѣйшихъ *ручныхъ насосахъ*—изъ дерева; *набивка поршней* обыкновенно пеньковая или кожаная; *клапаны сквозныхъ поршней*—кожаныя или каучуковыя.

На фиг. 329 представленъ *деревянный клапанный поршень* съ кожаною набивкою DD, въ видѣ сшивнаго круглаго воротника, укрѣпленнаго къ тѣлу поршня AA посредствомъ желѣзнаго обруча EE. Нижній обручъ FF служитъ для предохраненія поршня отъ разсыханія. Въ поршнѣ сдѣлано центральное отверстіе L, закрытое кожанымъ захлопнымъ клапаномъ V обыкновеннаго устройства. Конецъ штока B раздвоенъ въ видѣ вилки CC, концы которой укрѣпляются въ поршнѣ при помощи заплечиковъ C и гаекъ S.

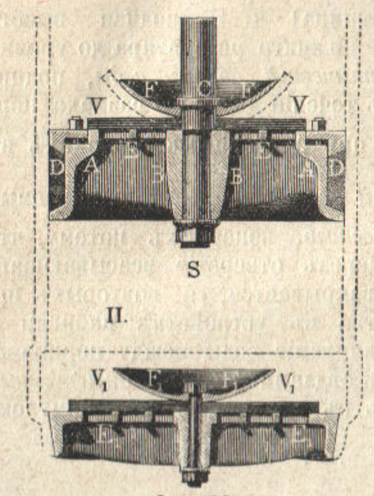




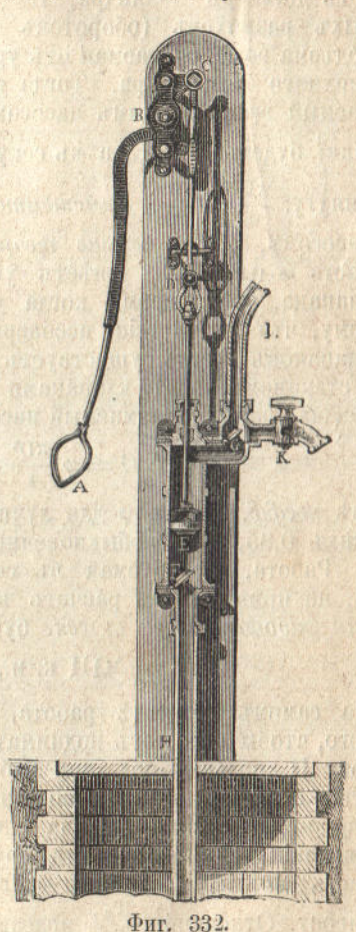
Фиг. 330.

На фиг. 330 изображенъ *чугунный* поршень съ кожаною же набивкою BB, которая укрѣпляется на поршнѣ при помощи желѣзнаго обруча CC. Въ поршнѣ два отверстія, закрытыя кожаными захлопными клапанами K,K. Концы кожаныхъ пластинокъ прижаты къ поршню трапецоидальнымъ заплечикомъ F, составляющимъ одно цѣлое со штокомъ. Нижній конецъ штока имѣетъ прямоугольное сѣченіе и укрѣпляется къ поршню при помощи клина H и поперечины G, сквозь которую продѣтъ штокъ.

Фиг. 331. представляетъ *поршень съ пеньковою набивкою и съ каучуковыми клапанами.* Устройство поршневаго клапана совершенно сходно съ устройствомъ всасывающаго клапана, изображеннаго на томъ же чертежѣ. Корпусъ поршня состоитъ изъ обода AA, скрѣпленнаго при помощи 4 или 6 спицъ со втулкою BB въ



Фиг. 331.



Фиг. 332.

которой закрѣпляется конецъ штока C. Пряди крученой пеньки, составляющей набивку, помѣщаются, въ нѣсколько оборотовъ, въ пространствѣ DD, образуемомъ ободомъ и кольцеобразною накладкою, которая можетъ быть притянута болѣе или менѣе къ поршню болтами. При стягиванiи этихъ частей набивка раздается въ стороны и плотно прижимается къ стѣнкамъ стакана.

351. Ручной металлическiй всасывающiй насосъ. Фиг. 332, представляетъ въ вертикальномъ разрѣзѣ ручной всасывающiй насосъ весьма распространеннаго типа. Чугунный стаканъ насоса укрѣпленъ на прочной деревянной стойкѣ CDH. Движенiе поршню E сообщается при помощи рычага ABC, вращающагося около оси B. Конецъ C рычага сочлененъ съ вилообразнымъ шатуномъ CD, ведущимъ поршневой штокъ DE. Подъ емная труба L снабжена

клапаномъ G и краномъ K; если послѣднiй открытъ, то вода вытекаетъ не по подъемной трубѣ, а по боковой трубкѣ K.

352. Объемъ воды, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ секунду, и работа, потребная для его движенiя. Пусть D будетъ дiаметръ цилиндра, L—длина хода поршня, n—число двойныхъ размаховъ (оборотовъ кривошипа) и H—полная высота подъема воды, считаемая отъ уровня нижняго резервуара до уровня верхняго резервуара. Тогда *теоретическiй объемъ воды*, поднимаемый всасывающимъ насосомъ въ теченiе двойнаго размаха поршня будетъ: $\frac{\pi D^2}{4} L$, а въ секунду, при n двойныхъ размахахъ въ минуту: $\frac{\pi D^2}{4} L \frac{n}{60}$. *Дѣйствительный же объемъ воды*, поднимаемый насосомъ, всегда *меньше теоретическаго*, вопервыхъ потому, что часть воды всегда успѣетъ уйти черезъ отверстiе всасывающаго клапана, въ то время когда онъ закрывается, а вовторыхъ потому, что вслѣдствiе несовершенства въ устройствѣ набивки и клапановъ всегда существуетъ просачиванiе воды между поршнемъ и стаканомъ, между клапанами и ихъ сѣдлами. Поэтому *дѣйствиный объемъ воды*, поднимаемый насосомъ въ сек., выразится формулою:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \frac{Ln}{60} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (84)$$

гдѣ *коефф.* потери φ для лучшихъ насосовъ равенъ 0,9; для хорошихъ 0,85, а для обыкновенныхъ 0,8.

Работа, расходуемая въ сек. на поднятiе объема Q на высоту H, не принимая въ расчетъ вредныхъ сопротивленiй, т. е. *полезная работа насоса въ сек.* будетъ:

$$T_u = \Delta QH \text{ к. м., или } N_u = \frac{\Delta QH}{75} \text{ п. л.}$$

На самомъ же дѣлѣ работа, которую надо передать насосу для того, чтобы онъ могъ поднимать непрерывно вѣсъ ΔQ воды на высоту H, больше полезной работы $T_u = \Delta QH$ этого вѣса, вслѣдствiе существованiя безполезныхъ сопротивленiй (*тренiя набивки поршня* о стѣнки стакана и *гидравлическихъ сопротивленiй* при движенiи воды по системѣ трубъ (§§ 147 и 148), поглощающихъ часть энергiи T_m машины — двигателя или рабочаго, передаваемой насосу. Отношенiе $\frac{T_u}{T_m}$ полезной работы насоса къ работѣ двигателя, передаваемой ему наз. *коефф. полезнаго дѣйствiя насоса*, который мы по прежнему будемъ означать буквою μ. Для обыкновенныхъ насосовъ $\mu = 0,6$, а для хорошо устроенныхъ $\mu = 0,75$. Принимая среднее значенiе $\mu = 0,7$, получимъ для *валовой работы*, расходуемой на движенiе насоса, выраженiе:

$$T = \frac{\Delta QH}{\mu} \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta QH}{\mu . 75} \text{ пар. л.} \quad . \quad . \quad (85)$$

353. Насосъ съ утолщеннымъ штокомъ (фиг. 333). Всасывающій насосъ, разсмотрѣнный въ предыдущихъ §§, представляетъ тотъ недостатокъ, что подъемъ воды, а. слѣд., и работа распредѣляется неравномѣрно на оба хода поршня, такъ какъ *при нисходящемъ движеніи поршня* изъ стакана вытѣсняется только объемъ воды, равный объему, занятому штокомъ, т. е. $\frac{\pi d^2}{4}$ L, гдѣ d есть діаметръ штока, между тѣмъ какъ *во время восходящаго движенія поршня* объемъ воды, доставляемой въ верхній резервуаръ, равенъ $\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)L$. Съ цѣлью устранить этотъ недостатокъ дѣлаютъ штокъ настолько толстымъ, чтобы при нисходящемъ движеніи онъ вытѣснялъ столько же воды, сколько ея вытѣсняетъ поршень при своемъ поднятіи, т. е. чтобы



Фиг. 333.

$$\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)L=\frac{\pi d^2}{4}L, \text{ откуда: } d=D\sqrt{0,5}=0,707D.$$

Такой насосъ наз. *насосомъ съ утолщеннымъ штокомъ*. Онъ имѣетъ, собственно, два поршня: одинъ A, снабженный клапанами *a,a*, и другой B, имѣющій форму *ныряла*. Этотъ послѣдній пропущенъ черезъ сальникъ E и служитъ въ то же время штокомъ для перваго поршня.

354. Главнѣйшіе размѣры всасывающаго насоса. Расчетъ насоса начинается обыкновенно съ опредѣленія діаметра D поршня по данному объему Q доставляемой воды въ сек., пользуясь формулою (84).

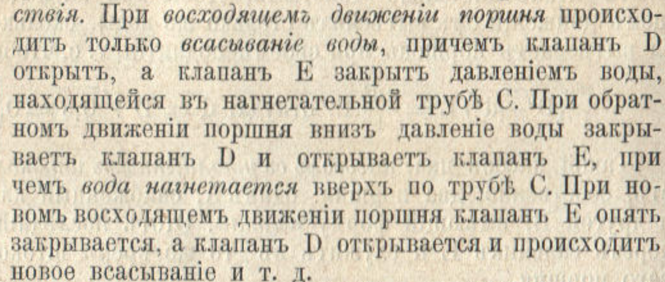
Такъ какъ *гидравлическія сопротивленія возрастаютъ со среднею скоростью c* (§ 147 и 148) воды (а слѣд., и поршня), то эту послѣднюю должно дѣлать по возможности меньше, имѣя лишь въ виду то обстоятельство, что слишкомъ медленное движеніе поршня влечетъ за собою большую потерю воды черезъ клапаны и набивку. Въ практикѣ берутъ c отъ 0,15 до 0,25 метр. для насосовъ съ тщательною пригонкою клапановъ и набивки; отъ 0,25 до 0,35 для хорошо устроенныхъ насосовъ и отъ 0,35 до 0,5 для обыкновенныхъ насосовъ. Въ исключительныхъ, однако, случаяхъ, напр., когда проектируется насосъ для доставленія большаго количества воды, допускаютъ для c значеніе даже близкія къ 1 метру, съ цѣлью избѣжать слишкомъ большаго діаметра стакана.

Для опредѣленія *длины хода* служитъ формула: $c=\frac{2nL}{60}$, если число качаній поршня обусловлено, напр., когда извѣстно число оборотовъ въ минуту той машины, которая будетъ сообщать движеніе насосу. Если число размаховъ не задано, то для L избираютъ возможно большія значенія, съ цѣлью уменьшить число размаховъ; обыкновенно берутъ L = 4D. Въ *ручныхъ насосахъ* величина хода L поршня обусловливается ходомъ s конца рычага, на который дѣйствуетъ рабочій; величина хода s принимается равною отъ 0,80 до 1,20 метр., поэтому $L=\frac{b}{a}s=\frac{b}{a}(0,8-1,2)$; отношеніе плечъ рычага $\frac{b}{a}$ дѣлается отъ $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{6}$. По этимъ даннымъ опредѣлится *число двойныхъ размаховъ n* въ минуту. *Діаметры всасывающей* и *подъ-*

емной трубѣ опредѣляются по условію, чтобы скорость воды въ нихъ не превосходила 1,2 м., или, чтобы она была отъ 2 до 3 разъ болѣе скорости поршня. По этому условію имѣемъ: $\frac{\pi d^2}{4}\ 2c = \frac{\pi D^2}{4}\ c$, или $\frac{\pi d^2}{4}\ 3c = \frac{\pi D^2}{4}\ c$, откуда $d =$ отъ 0,7 до 0,6D. Толщина стѣнокъ чугуннаго стакана, если внутреннее давленіе не превосходитъ 10 атм., что обыкновенно и бываетъ, можетъ быть опредѣлена по формулѣ: $\delta = 0{,}024D + 0{,}85$ сант. По той же формулѣ опредѣляется толщина стѣнокъ трубъ, подставивъ вмѣсто D соотвѣтственный діаметръ трубы.

355. Нагнетательные насосы. Въ нагнетательныхъ насосахъ встрѣчаются тѣже части, какъ и во всасывающихъ, только поршень ихъ не сквозной, а глухой—безъ клапановъ.

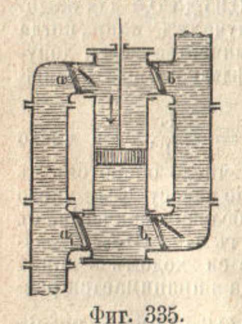
Фиг. 334 представляетъ *нагнетательный насосъ простаго дѣйствія.* При *восходящемъ движеніи поршня* происходитъ только *всасываніе воды*, причемъ клапанъ D открытъ, а клапанъ E закрытъ давленіемъ воды, находящейся въ нагнетательной трубѣ C. При обратномъ движеніи поршня внизъ давленіе воды закрываетъ клапанъ D и открываетъ клапанъ E, причемъ *вода нагнетается* вверхъ по трубѣ C. При новомъ восходящемъ движеніи поршня клапанъ E опять закрывается, а клапанъ D открывается и происходитъ новое всасываніе и т. д.



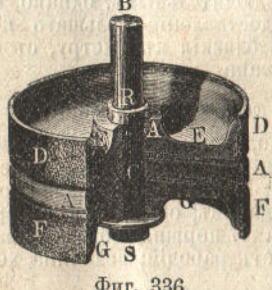
Фиг. 334.

Нагнетательный насосъ двойнаго дѣйствія (фиг. 335) имѣетъ 4 клапана: 2 всасывающихъ a и a_1 и два нагнетательныхъ b и b_1. При каждомъ ходѣ поршня открываются съ одной стороны всасывающій, а съ другой—нагнетательный клапанъ, и такимъ образомъ *всасываніе и нагнетаніе происходитъ одновременно* и непрерывно.

356. *Устройство клапановъ* нагнетательныхъ насосовъ ничѣмъ не отличается отъ клапановъ всасывающихъ насосовъ. Что же касается *поршней*, то они всегда металлическіе—сплошные. Существуетъ два главныхъ типа этихъ поршней: 1) *шайбовые поршни* съ набивкою (чаще всего кожаною) на ободѣ и 2) *ныряла*, съ набивкою при стаканѣ.



Фиг. 335.



Фиг. 336.

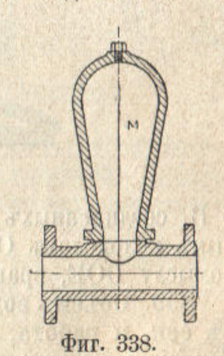
Фиг. 336 представляетъ чугунный поршень съ двойнымъ кожанымъ воротникомъ для насоса двойнаго дѣйствія. Онъ состоитъ изъ трехъ чугунныхъ дисковъ A, G и E, между которыми зажаты два воротника D и F при помощи гайки

S. Во время дѣйствія насоса вода своимъ давленіемъ распираетъ воротники, прижимая ихъ къ стѣнкамъ стакана. Въ нѣкоторыхъ поршняхъ внутренній чугунный дискъ А, не касающійся стакана, замѣняется кожаными кружками, которые способствуютъ болѣе плотному прикасанію поршня къ стѣнкамъ цилиндра.

На фиг. 337 изображено желѣзное *ныряло*. Оно представляетъ сплошной цилиндръ, обточенный снаружи и плотно пригнанный къ внутренней поверхности стакана. Набивку составляютъ два кожаныхъ воротника стянутыхъ крышкою, ввинчиваемою въ верхнюючасть стакана.

Фиг. 337.

357. Воздушный колоколъ. Нагнетательный насосъ простаго дѣйствія представляетъ недостатокъ, состоящій въ томъ, что во время всасывающаго хода поршня, струя воды въ нагнетательной трубѣ, совершенно прерывается. Для устраненія этого недостатка въ тѣхъ случаяхъ, когда *непрерывность и равномѣрность* вытекающей струи имѣетъ большое практическое значеніе, въ нагнетательной трубѣ ставится около нагнетальнаго клапана E (фиг. 334), особый резервуаръ M (фиг. 338), содержащій воздухъ и наз. *воздушнымъ колоколомъ.* Нагнетаемая поршнемъ вода поступаетъ предварительно въ воздушный колоколъ M, изъ котораго затѣмъ поднимается по нагнетательной трубѣ C (фиг. 334). *При нисходящемъ движеніи поршня* работа движущаго усилія расходуется частью на подъемъ воды по трубѣ C, а частъю на сжатіе воздуха заключеннаго въ колоколѣ. *При восходящемъ же движеніи*, когда клапанъ E закроется, сжатый воздухъ, расширяясь, продолжаетъ гнать воду изъ колокола въ трубу C. Понятно, что при надлежащихъ размѣрахъ колокола, въ нагнетательной трубѣ можетъ получиться движеніе воды, близкое къ равномѣрному.



Фиг. 338.

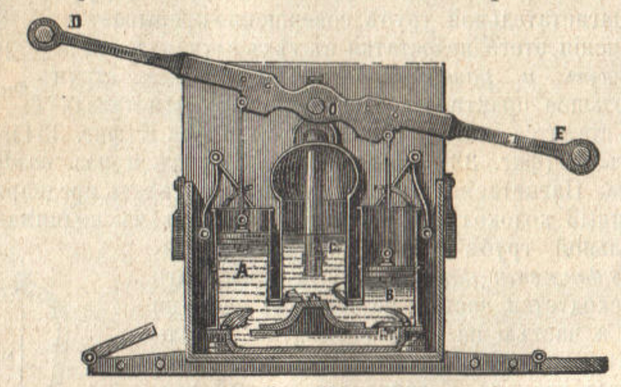
Воздушный колоколъ, обезпечивая равномѣрное вытеканіе струи, *увеличиваетъ полезное дѣйствіе насоса.* На самомъ дѣлѣ, при отсуствіи колокола, въ началѣ каждаго восходящаго движенія поршня почти мгновенно прекращается движеніе воды въ нагнетательной трубѣ, при чемъ живая сила этой воды теряется на ударъ о стѣнки и клапанъ. При существованіи же колокола живая сила не теряется на ударъ, но расходуется на сжатіе воздуха и затѣмъ снова возвращается въ періодъ его расширенія. Поэтому воздушный колоколъ ставится и при насосахъ двойнаго дѣйствія, а также нерѣдко при всасывающей трубѣ, если длина ея значительна.

Что касается формы воздушныхъ колоколовъ, то ихъ дѣлаютъ или коническими, расширяющимися кверху и ограниченными по-

сферою, или цилиндрическими. Объемъ же ихъ дѣлается отъ 3 до 5 объемовъ цилиндра.

358. Пожарная помпа. *Пожарная помпа* представляетъ нагнетательный насосъ, снабженный воздушнымъ колоколомъ, изъ котораго вода выбрасывается сильною и непрерывною струею через коническую съуживающуюся насадку, навинченную на конецъ нагнетательнаго рукава. Пожарные насосы бываютъ *ручные* и *паровые*. Послѣдніе представляютъ большое сходство съ локомобилемъ, снабженнымъ вертикальнымъ трубчатымъ котломъ и нагнетательнымъ насосомъ, который всегда имѣетъ воздушный колоколъ; на томъ же колесномъ ходу помѣщается резервуаръ для воды, питающей насосъ.

На фиг. 339 представленъ *ручной пожарный насосъ*. Онъ состоитъ изъ двухъ нагнетательныхъ насосовъ простаго дѣйствія A



Фиг. 339.

и B, соединенныхъ между собою и снабженныхъ общимъ воздушнымъ колоколомъ C. Штоки насосовъ подвѣшены къ ручному коромыслу DOE, вращающемуся около горизонтальной оси O.

359. Объемъ воды, накачиваемой нагнетательнымъ насосомъ въ сек. и работа, потребная для его движенія. Означая *коэффиціентъ потери воды* черезъ всасывающій клапанъ буквою φ, получимъ для объема воды, накачиваемой въ сек. *насосомъ простаго дѣйствія*:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{Ln}{60}, \quad . \quad . \quad . \quad (86)$$

а *насосомъ двойнаго дѣйствія*:

$$Q = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \frac{2Ln}{60} . \quad . \quad . \quad . \quad (87)$$

Полезная работа того и другаго насосовъ будетъ:

$$T_n = \Delta QH \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta QH}{75} \text{ п. л.,}$$

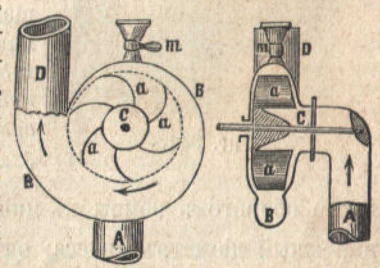
гдѣ H есть полная высота нагнетанія, считаемая отъ нижняго уравня до верхняго; а *полная* (валовая) *работа, расходуемая на движеніе насосовъ въ сек.* будетъ:

$$T = \frac{\Delta QH}{\mu} \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta QH}{\mu . 75} \text{ п. л. } . . . . . (88)$$

гдѣ μ есть коефф. полезнаго дѣйствія насоса, который можно принять въ среднемъ равнымъ 0,7.

Примѣчаніе. Что касается главнѣйшихъ размѣровъ нагнетательныхъ насосовъ, то они опредѣляются по тѣмъ же правиламъ, какія были изложены для всасывающихъ насосовъ (§ 354).

360. Центробѣжная помпа (фиг. 340). Этотъ насосъ представляетъ видоизмѣненную радіальную тюрбину [1]) и подобно ей состоитъ изъ колеса, насаженнаго на валъ и снабженнаго кривыми лопатками *a,a*, Колесо это заключено внутри спиральнаго [2]) кожуха BB, въ боковой стѣнкѣ котораго сдѣлано концентрическое съ колесомъ отверстіе C, черезъ которое вода вступаетъ въ насосъ, поднимаясь по всасывающей трубѣ A. Передъ началомъ работы насосъ наполняютъ водою. При вращеніи колеса по часовой стрѣлкѣ вода, наполняющая пространство между



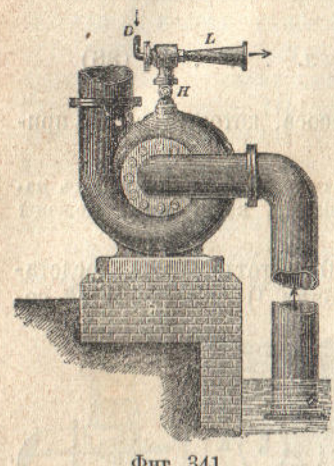
Фиг. 340.

лопатками, отъ дѣйствія центробѣжной силы, начнетъ выгоняться въ спиральный каналъ, а оттуда въ нагнетательную трубу D; вслѣдствіе этого происходитъ уменьшеніе давленія воздуха въ насосѣ, обусловливающее всасываніе воды трубою A. Въ верхней части кожуха ставится кранъ m для выпуска воздуха, скопляющагося въ этой части и могущаго мѣшать правильному дѣйствію насоса. Въ нѣкоторыхъ насосахъ кранъ этотъ помѣщается на особомъ приборѣ DLH (фиг. 341), наз. *эжекторомъ*. Главную часть эжектора составляетъ *коническая расходящая насадка* L, присуствіе которой обусловливаетъ всасывающее дѣйствіе прибора (§ 140). Закрывъ верхнее отверстіе нагнетальной трубы доскою, обмазанною глиною, пускаютъ черезъ трубку D струю пара или воды, которая выходя съ большою скоростью изъ прибора, высасываетъ воздухъ изъ насоса

[1]) Подобная аналогія можетъ быть проведена между насосами и водостолбовыми машинами, наливными колесами и *водочерпательными колесами*, слущащими для переливанія воды изъ нижняго резервуара въ верхній. Эти колеса представляютъ *древнѣйшія водоподъемныя машины*.

[2]) Въ практикѣ примѣняется обыкновенно *архимедова спираль*, но какъ показываетъ теорія, наивыгоднѣйшей формѣ кожуха соотвѣтствуетъ *спираль логариѳмическая*.

и производитъ весьма быстро заполненіе помпы водою. При существованіи эжектора дѣлается излишнимъ установка при нижнемъ концѣ забирной трубы особаго *всасывающаго клапана*, вредно вліяющаго на полезное дѣйствіе и непрерывную работу насоса, но необходимаго для первоначальнаго наполненія его водою.

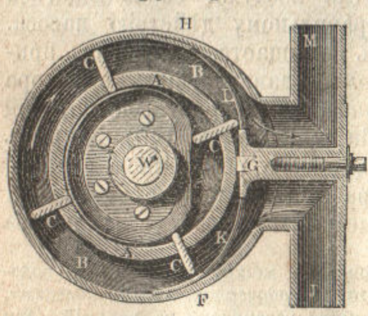


Фиг. 341.

Смотря по величинѣ, центробѣжныя помпы дѣлаютъ отъ 250 до 2500 оборотовъ въ мин. Объемъ воды, поднимаемый въ сек., равенъ: $Q = \frac{\pi d^2}{4} . c$, гдѣ d есть діаметръ всасывающей трубы и c — скорость воды въ ней, измѣняющаяся отъ 1 до 1,6 м. въ сек. для напоровъ $H \lesseqgtr 8$ м., и отъ 1,6 до 2,35 м. въ сек. для H = 8 до 15 м. *Наивыгоднѣйшая скорость v на окружности колеса*, согласно опытамъ, равна $v = 1{,}5 \sqrt{2gH}$ м. Зная v, найдемъ число оборотовъ помпы въ мин. по формулѣ: $n = \frac{v . 60}{\pi D}$, гдѣ D есть наружный діаметръ колеса; онъ дѣлается равнымъ 2,5 d. *Коеффиціентъ полезнаго дѣйствія* μ этихъ помпъ измѣняется отъ 0,60 до 0,70 (тѣмъ меньше, чѣмъ больше напоръ H). Наконецъ, работа, потребная для движенія насоса въ сек., будетъ:

$$T = \frac{\Delta Q H}{\mu} \text{ к. м., или } N = \frac{\Delta Q H}{\mu . 75} \text{ п. л.}$$

361. Круговращательные насосы. *Круговращательные* (или *коловратные*) *насосы* отличаются отъ центробѣжныхъ тѣмъ, что вода поднимается въ нихъ не дѣйствіемъ центробѣжной силы, а при помощи вращающагося поршня.



Фиг. 342.

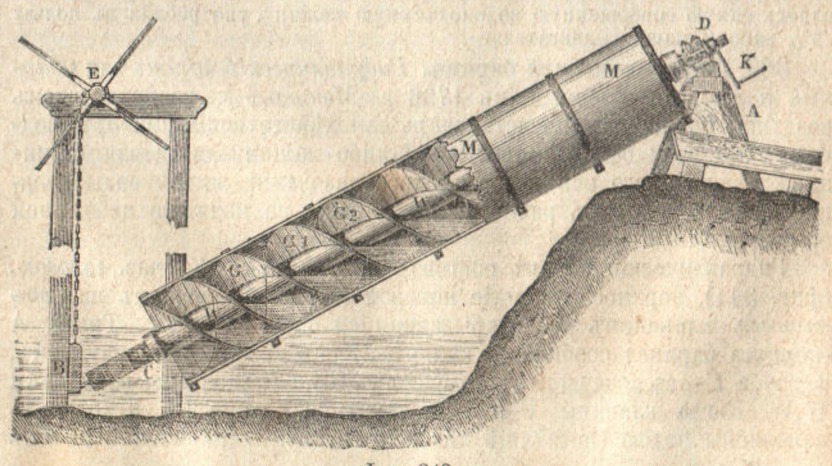
На фиг. 342 представленъ въ вертикальномъ разрѣзѣ *круговращательный насосъ Дица*. Онъ состоитъ изъ цилиндра HF, внутри котораго вращается на валу W кольцеобразный поршень AA, снабженный 4 радіальными подвижными лопатками C,C. Послѣднія находятся въ постоянномъ соприкосновеніи, съ одной стороны—съ ободомъ кулачнаго эксцентрика, установленнаго неподвижно внутри поршня AA, а съ другой—

съ внутреннею поверхностью цилиндра HF и съ желѣзною полосою HGF, которая концами своими задѣлана въ стѣнкѣ цилиндра, а серединою нажата къ ободу поршня A. Въ полосѣ HGF сдѣланы окошки K и L, посредствомъ которыхъ пространство BB сообщается нижнею частью со всасывающей трубою J, а верхнею—съ нагнетательною трубою M. При вращенiи вала W вмѣстѣ съ нимъ будутъ вращаться и лопатки C, которыя, проходя вдоль части GF желѣзной полосы, всасываютъ воду въ цилиндръ, и гонятъ ее затѣмъ черезъ окошко L въ нагнетательную трубу. Главный недостатокъ этого насоса заключается въ трудности пригонки подвижныхъ лопатокъ, которыя скоро изнашиваются и потому требуютъ частаго ремонта.

Изъ другихъ вращательныхъ насосовъ пользуется извѣстностью *насосъ Беренса*, устройство котораго совершенно сходно съ вращательною паровою машиною того же изобрѣтателя (§ 313).

362. Архимедовъ винтъ. *Архимедовъ винтъ* представляетъ одну изъ самыхъ старинныхъ водоподъемныхъ машинъ. Первоначальное устройство его, данное *Архимедомъ*, состояло изъ трубки, изогнутой винтообразно около оси, наклоненной къ горизонту и погруженной нижнимъ концомъ въ воду. При каждомъ оборотѣ вала трубка вбираетъ въ себя нѣкоторый объемъ воды, которая затѣмъ выливается черезъ верхнiй ея конецъ. Въ настоящее время эта конструкцiя, по трудности приготовленiя винтовыхъ оборотовъ съ круглымъ сѣченiемъ, совершенно оставлена: трубка замѣняется винтовою поверхностью, съ двумя или тремя ходами, заключенною въ кожухъ, составляющiй полный цилиндръ или часть его (желобъ). Такого устройства винтъ носитъ названiе *голландскаго*.

На фиг. 343 изображенъ деревянный голландскiй винтъ съ 3 ходами. Онъ состоитъ изъ вала CD, опирающагося концами своими на деревянную



Фиг. 343.

раму, верхнiй конецъ которой установленъ на козлахъ A, а нижнiй подвѣшенъ къ стойкамъ B при помощи цѣпи, навитой на воротъ E, посред-

ствомъ котораго винтъ можетъ быть установленъ подъ требуемымъ угломъ къ горизонту. Валъ CD окруженъ цилиндрическимъ досчатымъ кожухомъ M. Въ пространствѣ между кожухомъ и валомъ помѣщены 3 винтовыя поверхности G, G_1, G_2, образующія винтовые каналы. Эти поверхности строятся изъ отдѣльныхъ дощечекъ (*сплицъ*), обстроганныхъ по шаблону и вставленныхъ въ пазы, которые вырѣзываются по винтовымъ линіямъ одинаковаго шага на валѣ винта и на внутренней поверхности кожуха. Снаружи кожухъ стягивается желѣзными обручами и такимъ образомъ всѣ части скрѣпляются въ одно цѣлое.

Въ *металлическихъ* винтахъ перегородки дѣлаются изъ листоваго желѣза и приклепываются къ винтообразнымъ закраинамъ, прилитымъ къ чугунному валу. Кожухъ дѣлаютъ также изъ листоваго желѣза; винтовыя перегородки прикрѣпляютъ къ нему посредствомъ угловаго желѣза. Иногда, при большой длинѣ винта, кожухъ устраивается въ видѣ желоба, облегающаго только нижнюю часть винта и составленнаго изъ деревянныхъ досокъ, листоваго желѣза или изъ кирпича.

Винтъ ставится *наклонно къ горизонту* подъ угломъ, немногимъ больше разности $90 - \alpha$, гдѣ α есть уголъ подъема направляющей винтовой линіи, При этомъ нижній конецъ винта долженъ погружаться въ воду на столько, чтобы при вращеніи винта его винтовой каналъ захватывалъ поочередно то воду, то воздухъ. Вода, захватываемая нижнимъ концомъ винтоваго канала, играетъ по отношенію къ винтовой поверхности роль какъ бы части гайки, которая удерживается внѣшнимъ препятствіемъ (въ данномъ случаѣ вѣсомъ) отъ вращенія вмѣстѣ съ винтомъ и которая, слѣд., должна двигаться вдоль его оси.

Архимедовы винты, какъ и центробѣжные насосы, могутъ поднимать и чистую и грязную воду, но только *на небольшую высоту*, которая всегда меньше длины винта. Они въ большомъ употребленіи *въ Голландіи*, гдѣ примѣняются для осушенія низменныхъ мѣстъ. Небольшіе переносные винты приводятся въ движеніе руками при помощи рукоятки; а большіе—постоянные—получаютъ движеніе отъ вѣтряныхъ или другихъ пріемниковъ.

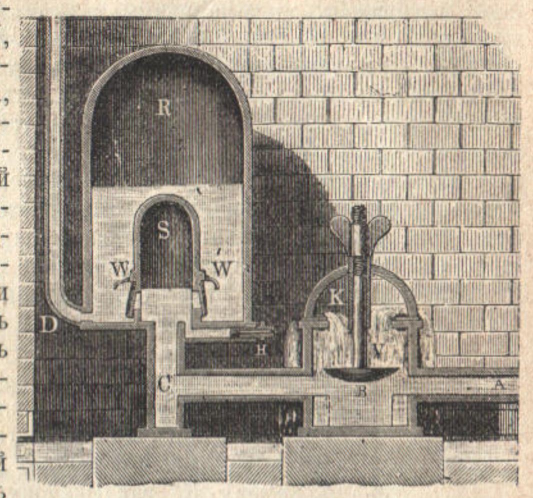
Въ отношеніи коефф. полезнаго дѣйствія Архимедовъ винтъ представляетъ самую совершенную водоподъемную машину, употребляя въ пользу 75% работы машины-двигателя.

363. Гидравлическій баранъ. *Гидравлическій баранъ* или *ударный насосъ*, построенный въ 1796 г. *Монгольфье*, изобрѣтателемъ воздушныхъ шаровъ, представляетъ самодѣйствующій приборъ, поднимающій воду безъ помощи какой-либо машины-двигателя. Принципъ дѣйствія его основанъ на преобразованіи живой силы большой массы воды въ работу, расходуемую на поднятіе небольшой ея части [1]).

Гидравлическій баранъ состоитъ изъ камеры BK, наз. *головою*, (фиг. 344), верхнее отверстіе которой (K) снабжено такъ наз. *отсѣчнымъ* клапаномъ V, открывающимся сверху внизъ. Труба A (*корпусъ* барана) сообщаетъ камеру BK, съ нижнимъ резервуарокъ, а труба C—съ воздушнымъ колоколомъ RS, снабженнымъ клапанами W,W. Когда клапаны V и W закрыты, а камера BK и колоколъ наполнены водою (послѣдній только отчасти), то достаточно нажать

[1]) Первое примѣненіе этого принципа было сдѣлано еще въ 1775 г. англичаниномъ *Уитёрстомъ*; но его приборъ требовалъ присутствія рабочаго для открыванія и закрыванія крана.

на отсѣчный клапанъ V, чтобы привести аппаратъ въ дѣйствіе. При этомъ вода изъ ударной камеры устремится черезъ клапанъ V наружу; но скоро отсѣчный клапанъ, увлекаемый водою, закроется, такъ какъ давленіе на клапанъ снизу больше давленія сверху вслѣдствіе разрѣженія воздуха въ цилиндрической насадкѣ KV, обусловливаемаго сжатіемъ струи (§ 139). Вода, остановленная почти мгновенно въ своемъ движеніи, производитъ сильный ударъ по всѣмъ направленіямъ, дѣйствіемъ котораго открывается нагнетательный клапанъ W и часть воды переходитъ въ воздушн. колоколъ, сжавъ заключенный въ немъ воздухъ. Изъ колокола нѣкоторая часть воды поднимется по нагнетательной трубѣ D, а остальная часть начнетъ обратное движеніе черезъ подъемный клапанъ W, который скоро захлопнется. Когда черезъ нѣсколько секундъ вода придетъ въ покой, отсѣчный клапанъ снова откроется, причемъ повторятся тѣже явленія. Закрытіе отсѣчнаго клапана всегда сопровождается сильнымъ ударомъ его о сѣдло, служащимъ причиною потери запаса работы и способствующимъ скорому изнашиванію клапана. Эти обстоятельства не позволяютъ устраивать аппаратъ большихъ размѣровъ.



Фиг. 344.

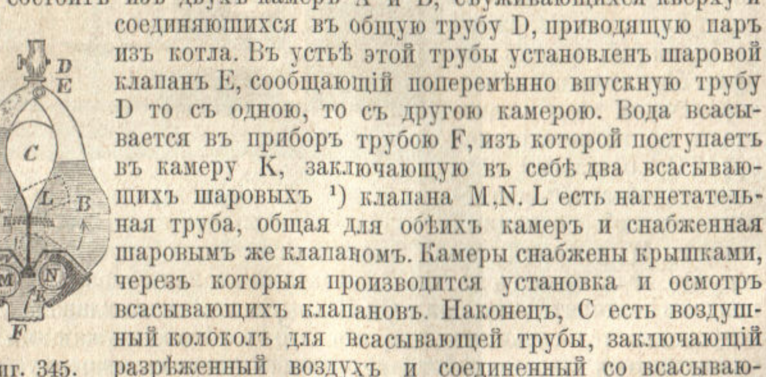
При небольшихъ количествахъ поднимаемой воды и при отношеніи высоты подъема къ напору рабочей воды, не превосходящемъ 8, гидравлическій баранъ представляетъ преимущество передъ всѣми другими водоподъемными машинами въ отношеніи полезнаго дѣйствія. Сверхъ того онъ не требуетъ никакого надзора и никакихъ расходовъ по содержанію. Называя буквами: Q количество воды, расходуемое рабочимъ резервуаромъ, Q_1—количество поднимаемой воды, h рабочій напоръ и h_1 высоту подъема, получимъ для коэфф. полезнаго дѣйствія аппарата, выраженіе: $\mu = \frac{Q_1 h_1}{Qh}$. По опытамъ *Эйтельвейна*:

при $\frac{h_1}{h}$ =	1;	2;	3;	4;	5;	6;	8;	10;	12;	15;	20.
μ =	0,920;	0,837;	0,774;	0,720;	0,673;	0,630;	0,555;	0,488;	0,427;	0,345;	0,226

Примѣръ. Опредѣлить количество рабочей воды, потребной для поднятія 100 литр. на высоту $h_1=5$ м. при рабочемъ напорѣ $h=1$ м. Такъ какъ $\frac{h_1}{h}=5$, то $\mu=0{,}673$; поэтому $Q=742$ литра. Между тѣмъ, если бы вмѣсто барана былъ употребленъ обыкновенный насосъ, который приводился бы въ движеніе лучшимъ пріемникомъ—верхненаливнымъ колесомъ, то принимая коефф. п. д. насоса $\eta=0{,}7$, а колеса $\mu=0{,}8$, получили бы общій коефф. п. д. $\mu'=\eta\,\mu=0{,}56$.

364. Пульзометръ. Подъ именемъ *пульзометра* извѣстенъ изобрѣтенный въ 70-хъ годахъ американцемъ *Генри Голлемъ* паровой насосъ, представляющій въ сущности усовершенствованную водоподъемную *машину Савери* (§ 305). Какъ и въ послѣдней, въ пульзометрѣ паръ приходитъ въ непосредственное соприкосновеніе съ водою, и. вслѣдствіе поперемѣннаго образованія разрѣженнаго пространства и поперемѣннаго давленія пара на воду, происходитъ сперва всасываніе и затѣмъ подъемъ ея на высоту.

Фиг. 345 представляетъ пульзометръ въ вертикальномъ разрѣзѣ. Онъ состоитъ изъ двухъ камеръ A и B, съуживающихся кверху и соединяющихся въ общую трубу D, приводящую паръ изъ котла. Въ устьѣ этой трубы установленъ шаровой клапанъ E, сообщающій поперемѣнно впускную трубу D то съ одною, то съ другою камерою. Вода всасывается въ приборъ трубою F, изъ которой поступаетъ въ камеру K, заключающую въ себѣ два всасывающихъ шаровыхъ [1]) клапана M,N. L есть нагнетательная труба, общая для обѣихъ камеръ и снабженная шаровымъ же клапаномъ. Камеры снабжены крышками, черезъ которыя производится установка и осмотръ всасывающихъ клапановъ. Наконецъ, C есть воздушный колоколъ для всасывающей трубы, заключающій разрѣженный воздухъ и соединенный со всасывающею трубою F при помощи обращеннаго книзу развѣтвленія (на чертежѣ не показано). Назначеніе его аналогично съ назначеніемъ нагнетательнаго воздушнаго колокола. Весь аппаратъ отливается со всѣми камерами за одно цѣлое и не требуетъ послѣ отливки почти никакой отдѣлки.



Фиг. 345.

При положеніи пароваго клапана, представленномъ на чертежѣ, паръ вступаетъ въ лѣвую камеру. Вслѣдствіе особенной формы камеръ, паръ при своемъ вступленіи находится въ соприкосновеніи лишь съ весьма небольшою поверхностью воды, защищенною притомъ небольшимъ слоемъ воздуха (*воздушная подушка*), поэтому въ первый моментъ почти не происходитъ вовсе конденсаціи. Подъ давленіемъ сильной струи притекающаго пара уровень воды посте-

[1]) Въ пульзометрахъ конструкціи *Кертинга* нижніе паровые клапаны замѣнены каучуковыми, которые дали лучшіе результаты на практикѣ, а верхній клапанъ E замѣненъ весьма чувствительнымъ языкообразнымъ клапаномъ, качающимся около горизонтальной оси.

пенно и плавно понижается, оставаясь горизонтальнымъ, пока не достигнетъ отверстія, сообщающаго камеру съ выпускнымъ каналомъ. Переходъ оставшейся части воды черезъ это отверстіе сопровождается значительными колебаніями уровня и всей массы воды, обусловливающими быструю конденсацію пара, а вмѣстѣ съ тѣмъ и образованіе разрѣженнаго пространства. При этомъ верхній клапанъ давленіемъ воздуха, заключеннаго въ верхней части правой камеры, отбрасывается на лѣвое сѣдло, нагнетательный клапанъ закрываетъ лѣвое выпускное отверстіе (нагнетаніе кончилось), а лѣвый всасывающій клапанъ, бывшій все время закрытымъ, тотчасъ открывается: происходитъ всасываніе воды въ лѣвую камеру. Струя пара вступаетъ уже въ правую камеру; дѣйствіе аппарата повторяется.

Благодаря простотѣ и компактности устройства, легкости установки, небольшому вѣсу, постоянной готовности къ дѣйствію, способности качать при малыхъ размѣрахъ большой объемъ воды, пульзометръ въ короткое время пріобрѣлъ большое практическое значеніе.

Примѣчаніе. Давленіе пара въ котлѣ должно быть на 1—1,1 атм. больше давленія воды въ пульзометрѣ. По опытамъ, произведеннымъ вь Рейхенвальдской каменноугольной шахтѣ „Адольфъ", пульзометръ № 9 (діаметръ всасывающей трубки—15,5 сант., нагнетательной—12,8 с. и паропроводной—3 с., общій вѣсъ 300 kgl.) поднималъ въ минуту 810 литр. воды на высоту 29 метр., т. е. производилъ полезную работу: $\frac{810.29}{75.60} = 5,22$ пар. лош. въ секунду, расходуя въ минуту на 1 пар. лош. 1,43 kgl. пара. По сравненію съ паровымъ насосомъ, при коефф. полезнаго дѣйствія насоса 0,75 и паровой машины 0,35, этотъ расходъ будучи приведенъ къ паровому поршню, соотвѣтствуетъ расходу пара въ машинѣ: $0,75 \times 0,35 \times 1,43 = 0,375$ килогр. въ минуту или 22,5 kgl. пара въ часъ на 1 индикаторную пар. лош.

365. Мукомольный поставъ [1]) и его части. Главную часть всякой мельницы составляютъ *поставы*, т. е. механизмы, служащіе для размельченія зеренъ.

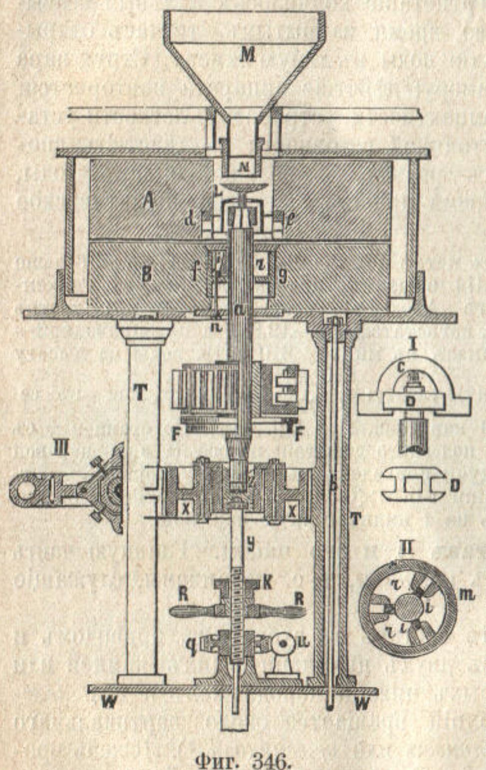
На фиг. 346 представленъ поставъ съ зубчатымъ приводомъ и его детали. Онъ состоитъ изъ двухъ цилиндрическихъ камней или *жерновов*ъ A и B, изъ которыхъ нижній неподвиженъ и наз. *лежнемъ* или *нижнякомъ*, а верхній вращается около вертикальнаго вала (*веретена*) *a* и наз. *бѣгуномъ* или *верхнякомъ* [2]). Лежень прочно установленъ на чугунной плитѣ, поддерживаемой чугунными же колоннами T, которыя опираются на фундаментную доску W и укрѣпляются къ каменному основанію болтами b. Верхняя по-

[1]) Постава съ двумя жерновами были извѣстны еще во времена Моисея, т. е. за 1600 лѣтъ до Р. Хр.; это были ручные мельницы. Но уже много раньше Р. Х. работа человѣка была замѣнена работою животныхъ на конномъ приводѣ. Первая паровая мельница была построена въ Англіи въ 1783 г.

[2]) Существуютъ постава съ нижнимъ вращающимся жерновомъ, а также съ нижнимъ и верхнимъ вращающимися жерновами. Послѣдняя конструкція встрѣчается, впрочемъ, очень рѣдко.

верхность лежня устанавливается по ватерпасу горизонтально. Для предупрежденія распыла муки, выходящей изъ жернововъ, послѣдніе окружены (въ разстояніи около 2'') цилиндрическимъ *кожухомъ* или *обечкою*. Мука, собирающаяся въ пространствѣ между жерновами и стѣнками кожуха, выходитъ оттуда особымъ каналомъ.

Жернова. Качества жерноваго камня имѣютъ важное значеніе для успѣшности помола. Такъ какъ помолъ происходитъ вслѣдствіе разрыва зеренъ дѣйствіемъ тренія между мелющими поверхностями, движущимися съ *различными скоростями*, то эти поверхности должны быть шероховаты и должны какъ можно дольше сохранять свою шероховатость, а для этого необходимо, чтобы камень обладалъ *твердостью* и имѣлъ *зернистое* сложеніе. *Пористость* камня, обусловливая присутствіе на мелющей поверхности углубленій, ограниченныхъ острыми краями, которые способствуютъ болѣе совершенному размельченію зерна, составляетъ одно изъ весьма цѣнныхъ качествъ камня. Наконецъ, для равномѣрности изнашиванія жернововъ, необходимо, чтобы камень былъ однороденъ. Наиболѣе пригодны для жернововъ камни кварцевой породы, отличающіеся большою твердостью и пористостью ¹), но нерѣдко употребляются также песчаниковые, гранитные и базальтовые (*рейнскіе*) жернова. Такъ какъ большіе однородные камни встрѣчаются рѣдко, то хорошіе жернова большею частью приготовляются изъ отдѣльныхъ кусковъ, тщательно подобранныхъ и склеенныхъ гипсомъ, разведеннымъ на квасцовой водѣ, или цементомъ.



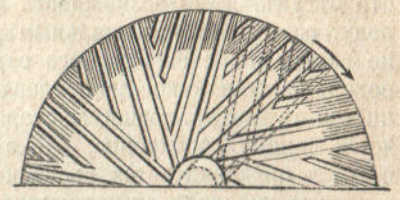
Фиг. 346.

Мелющія поверхности обоихъ жернововъ тщательно выравниваются подъ линейку и снабжаются особыми бороздками, способ-

¹) Лучшіе кварцевые камни добываются во Франціи около г. *La-Ferté-sous-Jouarre*, въ департ. Сены и Марны. Лучшими жерновами у насъ считаются *московскіе*, *пронскіе*, съ *Урала* и изъ *области В. Донскаго*.

ствующими размельченію и передвиженію размолотыхъ зеренъ и образующими своею совокупностью такъ наз. *насѣчку* жерноновъ (фиг. 347). Насѣчка на обоихъ жерновахъ чаще всего дѣлается одинаковая, а форма бороздокъ прямолинейная.

Въ виду того главнаго условія, чтобы при движеніи бѣгуна бороздки перекрещивались между собою, дѣйствуя на подобіе ножницъ, направленіе ихъ должно составлять нѣкоторый уголъ съ радіусомъ. Число главныхъ бороздокъ берется въ зависимости отъ діаметра жернова; промежуточные бороздки параллельны главнымъ и бываютъ числомъ отъ 2 до 4. Заштрихованное кольцо (фиг. 347) представляетъ наковку части мелющей поверхности, состоящую изъ мелкихъ бороздокъ, параллельныхъ главнымъ и сдѣланныхъ съ цѣлью приданія камню большей шероховатости. Ширина кольца дѣлается около 8—10 дюйм. Остальная часть мелющей поверхности дѣлается постепенно углубленною къ центру, вслѣдствіе чего образуется вогнутость или такъ наз. *глотокъ*. Опыты показали слѣдующія выгоды насѣчки: 1) движеніе частицъ отъ центра къ окружности совершается быстрѣе; 2) мука нагрѣвается меньше, вслѣдствіе того, что воздухъ, проходя по бороздкамъ, имѣетъ большій доступъ къ мелющимъ поверхностямъ; 3) расходъ работы на помолъ меньше.



Фиг. 347.

На фиг. 348, изображающей разрѣзъ обоихъ жерноновъ плоскостью, перпендикулярною къ мелющимъ поверхностямъ, представленъ послѣдовательный рядъ процессовъ, происходящихъ съ зерномъ при движеніи бѣгуна (по стрѣлкѣ). Въ бороздкѣ A, ближайшей къ очку бѣгуна, зерно начинаетъ только лущиться; въ слѣдующей бороздкѣ B зерно лущится болѣе дѣятельно—разрывается, причемъ оболочки отъ него отскакиваютъ; въ бороздкѣ C зерно уже крошится, причемъ частицы выносятся на мелющія поверхности между бороздками (на наковку), гдѣ окончательно размельчаются. Этотъ рядъ процессовъ происходитъ послѣдовательно въ каждой отдѣльной бороздкѣ.



Фиг. 348.

Каждый изъ жерноновъ имѣетъ въ серединѣ отверстіе (*глазъ*, *очко*), служащее для прохода веретена a. Черезъ верхнее очко происходитъ *питаніе* постава зерномъ. По мѣрѣ истиранія бѣгуна, чтобы дополнить потерянный вѣсъ, налѣпляютъ на него сверху камни; когда бѣгунъ сильно оботрется, его дѣлаютъ нижнякомъ.

Параплица. Соединеніе веретена съ бѣгуномъ производится при помощи такъ наз. *параплицы* de, имѣющей двоякое назначеніе: поддерживать бѣгунъ въ опредѣленномъ разстояніи отъ нижняка

и передавать ему вращательное движенiе отъ веретена. Соединенiе можетъ быть *глухое* и *качающееся* или свободное. Глухое соединенiе состоитъ въ томъ, что параплица закрѣпляется наглухо на веретенѣ и въ бѣгунѣ; при качающемся же соединенiи параплица насаживается свободно на веретенѣ. Не говоря уже о большей простотѣ установки и подъема бѣгуна, послѣднiй способъ представляетъ преимущества передъ первымъ въ томъ отношенiи, что бѣгунъ, имѣя возможность наклоняться въ ту или другую сторону, остается горизонтальнымъ, даже когда веретено установлено не вертикально; сверхъ того случайно попавшее между мелющими поверхностями какое-либо твердое тѣло, заставляя жерновъ наклониться въ соотвѣтственную сторону, не можетъ причинить поврежденiя самому соединенiю. По этимъ причинамъ въ хорошихъ поставахъ предпочитается свободное соединенiе. На фиг. 346, I представлена качающаяся параплица наиболѣе простой и употребительной конструкцiи. Она состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ частей: желѣзной дуги или *бугеля* С, прочно закрѣпляемаго своими лапами въ особыхъ гнѣздахъ, высѣкаемыхъ въ бѣгунѣ, и подвѣшеннаго на стальной шаровой цапфѣ, которою оканчивается веретено, и *гонялки* D, насаженной на верхнiй конецъ веретена (подъ шаровою цапфою), имѣющiй квадратное сѣченiе. Концы гонялки дѣлаются въ видѣ вилокъ и охватываютъ, съ нѣкоторымъ зазоромъ, бугель, такъ что при вращенiи веретена гонялка передаетъ движенiе бугелю, а, слѣд., и бѣгуну. Главныя условiя, которыя должны быть соблюдены при сборкѣ соединенiя, заключаются въ томъ, чтобы бугель могъ свободно качаться на цапфѣ веретена во всѣ стороны и чтобы точка привѣса параплицы лежала на одной вертикали съ центромъ тяжести бѣгуна и при томъ *выше* этого центра, для того, чтобы бѣгунъ находился въ устойчивомъ равновѣсiи.

Кружловина. Въ очко лежня вставляется втулка или такъ наз. *кружловина* fg, служащая для направленiя вращательнаго движенiя веретена и перекрытая сверху крышкою, предохраняющею ее отъ засоренiя. Кружловина дѣлается деревянная (изъ бука), но чаще всего металлическая и своимъ устройствомъ напоминаетъ подшипникъ. Тѣло кружловины составляетъ чугунная втулка m (фиг. 346, II), снабженная центральнымъ отверстiемъ для прохода веретена и тремя гнѣздами, въ которыя вставляются бронзовые вкладыши l, притягиваемые къ веретену при помощи клиньевъ i и гаекъ n, Камеры r,r служатъ для помѣщенiя смазки.

Подпятникъ. Нижнiй конецъ веретена упирается въ подпятникъ Z, установленный въ рамѣ X. Подпятникъ можетъ быть поднимаемъ или опускаемъ, вслѣдствiе чего поднимаются также веретено, параплица и бѣгунъ, и такимъ образомъ является возможность регулировать разстоянiе между мелющими поверхностями жернововъ. Съ этою цѣлью дѣйствуютъ на стержень Y, подпирающiй

подпятникъ и снабженный на нижнемъ концѣ винтовою нарѣзкою. На послѣднюю надѣта гайка, укрѣпленная въ винтовомъ колесѣ q, сцѣпляющемся съ безконечнымъ винтомъ u. Вращая винтъ (отъ руки или регулятора) въ ту или другую сторону, поднимаютъ или опускаютъ стержень Y, а вмѣстѣ съ нимъ подпятникъ, веретено и бѣгунъ.

Передача движенія веретену. Движеніе веретену сообщается отъ машины-двигателя при помощи шестерни E, заклиненной на веретенѣ посредствомъ длинной шпонки, допускающей передвиженія шестерни вдоль веретена [1]). Если нужно остановить поставъ, то расцѣпляютъ шестерню E съ ведущимъ колесомъ, что достигается черезъ поднятіе шестерни при помощи кольца F, находящагося подъ нею. Кольцо это соединено посредствомъ двухъ вертикальныхъ стержней (на фиг. не показаны) съ поперечиною K, надѣтою свободно на стержень Y и опирающеюся на гайку, которая вставлена въ рукоятку R. Вращая рукоятку, поднимаютъ вверхъ поперечину, а съ нею кольцо F и шестерню E, до тѣхъ поръ пока она не выйдетъ изъ зацѣпленія съ ведущимъ колесомъ.

Число оборотовъ n веретена опредѣлится по формулѣ $n = \frac{60c}{\pi D}$, гдѣ скорость c на окружности бѣгуна измѣняется въ предѣлахъ отъ 20 до 32 фут. При скорости, меньшей 20 ф., зерна перемалываются крупнѣе и уменьшается производительность постава; при скорости большей 32 ф., хотя и получается болѣе муки, но она слишкомъ перегрѣвается между жерновами и теряетъ свои хорошія качества [2]).

Питательные приборы. Весьма важное условіе правильнаго помола составляетъ непрерывное и равномѣрное *питаніе* постава зерномъ или крупою, предназначаемыми къ размолу. Для этой цѣли служитъ такъ наз. *питательный* приборъ. Наилучшіе результаты достигаются при помощи *центробѣжнаго* прибора, изображеннаго на фиг. 346. Онъ состоитъ изъ горизонтальной тарелки L, укрѣпленной сверху параплицы. Зерна подводятся къ тарелкѣ изъ воронки M по трубѣ N, проходящей въ очкѣ. Дѣйствіемъ центробѣжной силы зерна, попавшія на вращающуюся тарелку, отбра-

---

[1]) Кромѣ зубчатой передачи употребляется нерѣдко ременная передача, представляющая преимущество въ томъ отношеніи, что при ней избѣгаются удары и сотрясенія, неизбѣжные при зубчатомъ зацѣпленіи, и сверхъ того сцѣпленіе и расцѣпленіе постава съ передаточнымъ валомъ при ременной передачѣ совершается весьма просто дѣйствіемъ нажимнаго блока.

[2]) На мельницѣ Darbly въ St. Maur въ 40 поставовъ (движитель—тюрбина въ 160 силъ), мука съ которой считается во Франціи наилучшею, жернова имѣютъ діаметрѣ 1,3 метра и дѣлаютъ 120 обор. въ мин.; слѣд., c = 8,164 м. (26,3 фут.). На мельницѣ въ Таганрогѣ въ 36 поставовъ, построенной Ферберномъ (1860 г.), жернова имѣютъ діам. въ 4 ф. и дѣлаютъ 160 обор., слѣд., c=32,97 я.

сываются къ стѣнкамъ глаза, распредѣляясь равномѣрно по его окружности, чѣмъ достигается равномѣрное втягиваніе ихъ въ глотокъ жернововъ. Нижній конецъ трубы N сдѣланъ въ видѣ отростка и можетъ быть установленъ выше или ниже, вслѣдствіе чего увеличится или уменьшится кольцевое пространство между концемъ трубы и тарелкою, опредѣляющее расходъ зерна, сообразно со скоростью вращенія бѣгуна.

Что касается величины работы, расходуемой на движеніе постава, то точное опредѣленіе ея представляетъ непреодолимыя трудности, вслѣдствіе весьма сложной зависимости ея отъ многихъ обстоятельствъ: количества смалываемыхъ зеренъ, скорости бѣгуна, остроты бороздокъ, разстоянія между мелющими поверхностями, давленія ихъ на зерна, качества жернововъ и зеренъ... На практикѣ, при расчетѣ поставовъ, пользуются эмпирическими формулами, изъ которыхъ наиболѣе согласуется съ дѣйствительностью формула *Навье*:

$$N = 0{,}001925 \, \frac{PDn}{75},$$

гдѣ N есть полная работа (въ пар. л.), необходимая для движенія постава, P—вѣсъ бѣгуна въ klg., D—его діаметръ въ м. и n—число оборотовъ бѣгуна въ минуту.

ЗАДАЧИ.

109. Дано для всасыв. насоса: $D = 0{,}314$ м., ходъ поршня $l = 0{,}942$ м., число двойныхъ размаховъ въ минуту $n = 10$, полная высота подъема воды $H = 11{,}5$ м., коэфф. потери $\varphi = 0{,}8$, а коэфф. полезнаго дѣйствія насоса $\mu = 0{,}70$. Опредѣлить объемъ воды, поднимаемой въ сек., и работу, расходуемую для движенія насоса.

110. Дано для нагнет. насоса простаго дѣйствія: $D = 0{,}282$ м.; $l = 0{,}750$ м.; $n = 8$; $H = 30$ м., $\varphi = 0{,}8$; $\mu = 0{,}70$. Опредѣлить объемъ воды, поднимаемой въ сек., и работу, необходимую для движенія насоса.

111. Нагнетательный насосъ двойнаго дѣйствія долженъ доставлять въ часъ 4000 ведеръ воды, на высоту 20 м. Опредѣлить діаметръ насоса, работу потребную для его движенія и объемъ воздушнаго колокола, принимая: $c = 0.8$ м.; число двойныхъ размаховъ $n = 20$: $\varphi = 0{,}8$; $\mu = 0{,}70$.

112. Опредѣлить размѣры питательнаго насоса для котла зад. 90.

РѢШЕНІЕ ЗАДАЧЪ.

---

1. $T_rF = fP\frac{2\pi rn}{60}$. **2.** $T_rF = \frac{2}{3}fP\frac{2\pi r.n}{60}$. **3.** 1) $75N = Pv = P\frac{2\pi Rn}{60} = \frac{M.2\pi n}{60}$ к. м. Отсюда: $P = 716,56\frac{N}{Rn}$ к.; $M = 716,56\frac{N}{n}$ к. м. 2) Изъ чертежа имѣемъ: $Q = P_1 \mathrm{Sin}\alpha$. Но для устраненія скольженія моментъ тренія не долженъ быть менѣе момента усилія, вращающаго муфту, т. е. $fP_1R \geqq M$, откуда: $Q = \frac{M\mathrm{Sin}\alpha}{fR}$. *Численный примѣръ*: Q=100 к. Такъ какъ сцѣпленіе производится посредствомъ рычага, то усиліе рабочаго можетъ быть не велико.

Фиг. 349.

4. $\alpha_r = \pi r - 2r\mathrm{arcSin}.\frac{R-r}{d}$. **5.** $\alpha_R = \pi R + 2R\mathrm{arcSin}\frac{R+r}{d}$. **6.** $\alpha_r = 22,65''$; $\alpha_R = 110,22''$. **7.** $L = a\overset{\frown}{Mb} + 2\overset{\frown}{Aa} + 2AC + d\overset{\frown}{Nc} + 2\overset{\frown}{Dd}$ (фиг. 349) Но $a\overset{\frown}{Mb} = \pi R$; $\overset{\frown}{Aa} = R\alpha$; $d\overset{\frown}{Nc} = \pi r$; $\overset{\frown}{Dd} = r\alpha$. Далѣе изъ прямоуг. $\triangle$-ка OEO' находимъ: $OE = AC = OO'\mathrm{Cos}\alpha = d\mathrm{Cos}\alpha$ и $\mathrm{Sin}\alpha = \frac{O'E}{OO'} = \frac{R+r}{d}$; слѣд.: $L = \pi(R+r) + 2\alpha(R+r) + 2d\mathrm{Cos}\alpha$, гдѣ $\mathrm{Cos}\alpha = \sqrt{1-\mathrm{Sin}^2\alpha} = \sqrt{1-\left(\frac{R+r}{d}\right)^2}$ и $\alpha = \mathrm{arcSin}\frac{R+r}{d}$ поэтому: $L = (R+r)\left[\pi + 2\alpha\right] + 2d\sqrt{i-\left(\frac{R+r}{d}\right)^2}$. При проектированіи ступенчатыхъ шкивовъ радіусы каждой пары ступенекъ опредѣляются; такимъ образомъ, чтобы одинъ и тотъ же ремень годился для всѣхъ паръ. Такъ какъ *въ случаѣ перекрестнаго ремня длина его L зависитъ только отъ суммы радіусовъ шкивовъ*, то требуемое условіе будетъ соблюдено, если сумма радіусовъ каждой пары будетъ равна одной и той же постоянной величинѣ. Выбравъ радіусы r_1 и R_1 шкивовъ первой ступеньки (соотвѣтственно заданному для нея передаточному числу k_1) будемъ имѣть для опредѣленія радіусовъ 2-й ступеньки два ур.: $R_2 + r_2 = R_1 + r_1 = \mathrm{Const}$ и $\frac{R_2}{r_2} = k_2$. **8.** Про-

ведя внѣшнія касательныя къ шкивамъ (фиг. 349), найдемъ совершенно такимъ же способомъ, какъ и въ задачѣ 7, требуемое равенство: $L=\pi(R+r)+$ $+2(R-r)\,\text{arc.sin}\left(\frac{R-r}{d}\right)+2d\sqrt{1-\left(\frac{R-r}{d}\right)^2}$ . . . (a). Изъ этого равенства видно, что для того, чтобы одинъ и тотъ же ремень годился для всѣхъ паръ ступенчатыхъ шкивовъ, недостаточно уже, какъ для перекрестнаго ремня, чтобы $R_1+r_1=R_2+r_2=\text{Const}$. *Въ случаѣ открытаго ремня* при проектированіи ступенчатыхъ шкивовъ опредѣляютъ сначала по заданному передаточному числу k_1 радіусы R_1 и r_1 шкивовъ первой ступеньки, а зная ихъ опредѣляютъ длину L ремня по формулѣ (a). Тогда для опредѣленія радіусовъ R_2 и r_2 2-й ступеньки будетъ имѣть два уравненія: $L=\pi(R_2+r_2)+$ $+2(R_2-r_2)\,\text{arc.sin}\left(\frac{R_2-r_2}{d}\right)+2d\sqrt{1-\left(\frac{R_2-r_2}{d}\right)^2}$ и $\frac{R_2}{r_2}=k_2$. На практикѣ обыкновенно ведутъ расчетъ по способу приближенія. Принимаютъ $\text{arc.sin}\left(\frac{R_2-r_2}{d}\right)=\frac{R_2-r_2}{d}$ и $2d\sqrt{1-\left(\frac{R_2-r_2}{d}\right)^2}=2d\left\{1-\frac{1}{2}\left(\frac{R_2-r_2}{d}\right)^2\right\}$. Тогда $L=\pi(R_2+r_2)+\frac{2d^2+(R_2-r_2)^2}{d}$ . . . . (b). Затѣмъ опредѣляютъ R_2 и r_2 какъ для перекрестнаго ремня, т. е. по формулѣ: $R_2+r_2=R_1+r_1$ и $\frac{R_2}{r_2}=k_2$; внеся въ формулу (b) разность R_2-r_2 найденныхъ такимъ способомъ радіусовъ второй ступеньки, находятъ ихъ сумму R_2+r_2, изъ которой при помощи равенства $\frac{R_2}{r_2}=k_2$ опредѣляютъ окончательныя значенія R_2 и r_2. **10.** $P=T-$ $-t=t\left(e^{f\alpha}-1\right)$, $e^{f\alpha}=2{,}41$; слѣд.: $t=\frac{60}{2{,}41-1}=42{,}55$ klg. На практикѣ, съ цѣлью предупредить скольженіе ремня по шкиву, вслѣдствіе случайнаго возрастанія сопротивленія, величину t увеличиваютъ на 10%, такъ что t=46,805 klg. Слѣд.: T=46,805+60=106,805 klg. Первоначальное натяженіе ремня будетъ: $T_0=\frac{T+t}{2}=76{,}805$ klg. **11.** По Редтенбахеру жесткость каната выражается: $S=\varphi\frac{\delta^2}{R}Q$, гдѣ φ — постоянный коефф., δ — діаметръ каната, R—радіусъ блока, Q — поднимаемый грузъ. Если обозначимъ буквою F площадь каната, то $\delta^2=\frac{4F}{\pi}$, слѣд., $S=\varphi\frac{4F}{\pi R}Q$; для ремня $F=ab$, вмѣсто Q можно подставить среднюю натянутость $T_0=1{,}5P$, слѣдовательно, жесткость набѣгающей на ведущій шкивъ вѣтви выразится: $S_1=6\varphi P\frac{ab}{\pi r}$, а жесткость вѣтви, набѣгающей на рабочій шкивъ: $S_2=6\varphi P\frac{ab}{\pi R}$. Принимая скорость ремня одинаковою для обоихъ шкивовъ, получимъ полную работу жесткости въ сек.: $(S_1+S_2)\,v=6\varphi\frac{ab}{\pi}\left\{\frac{1}{r}+\frac{1}{R}\right\}Pv$, гдѣ Pv есть заданная величина передаваемой шкивами работы. Величина коефф. φ по Редтенбахеру = 13, если за единицу длины принятъ метръ, а за единицу силы килограммъ. Среднимъ числомъ потеря работы на жесткость составляетъ около 3%. **12.** Нормальное давленіе въ каждой оси $Q=T+t=3P$, а треніе=3fP; оно приложено по касательной къ цапфамъ. Считая эти тренія приложенными по касательной къ окружностямъ шкивовъ (*относя ихъ къ окружностямъ шки-*

вовъ), найдемъ ихъ величины F_1 и F_2 изъ условій, что ихъ моменты относительно осей ведущаго и рабочаго шкивовъ равны моментамъ тренія 3fP относительно тѣхъ же осей, т. е. $F_1 = 3fP\frac{\rho_1}{r}$ и $F_2 = 3fP\frac{\rho_2}{R}$. Полная работа тренія будетъ: $T_rF = (F_2 + F_1)v = 3f\left\{\frac{\rho_1}{r} + \frac{\rho_2}{R}\right\}Pv$, гдѣ Pv есть заданная величина передаваемой ремнемъ работы. **13.** Если Pv есть передаваемая ремнемъ работа, f—коефф. тренія смазанныхъ цапфъ, то полная потеря работы отъ тренія въ осяхъ шкивовъ и жесткости ремня будетъ: $T_{rf} = Pv \left\{\frac{6\varphi ab}{\pi}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) + f\left(\frac{\rho_1}{r} + \frac{\rho_2}{R}\right)\right\}$. Принявъ $f = 0{,}08$ и $\varphi = 13$, найдемъ: $T_{rf} = 0{,}12498$ Pv к. м., т. е. на треніе и жесткость теряется приблизительно около $12{,}5\%$ передаваемой работы. **14.** $N = 8.75 = 600$ к. м. Передаваемое усиліе $P = \frac{600}{v} = \frac{600.30}{\pi rn} = 127{,}4$ klg.; $t = \frac{P}{e^{f\alpha} - 1} = \frac{127{,}4}{2{,}02 - 1} = 124{,}9$ klg.; увеличивая его на 10%, получимъ: $t = 137{,}39$ klg.; слѣд.: $T = 127.4 + 137{,}39 = 264{,}79$ klg. **15.** 1) $d_1 = d_2 = d_3 = 2{,}016$ м; скорость на окружности шкивовъ $v = 10{,}56$ м.; 2) $P_1 = 146{,}8$ к., $P_2 = 213{,}07$ к. $P_3 = 284{,}09$ к.; 3) Принимая дугу, охватываемую канатомъ на каждомъ изъ шкивовъ, равною $0{,}8\pi$, найдемъ: $t_1 = \frac{P_1}{2{,}01 - 1} = 143{,}92$ klg.; увеличивъ его на 10% (зад. 10), получимъ: $t_1 = 158{,}31$; слѣд., $T_1 = P_1 + t_1 = 305{,}1$ klg. Подоб-нымъ же образомъ найдемъ: $T_2 = 442{,}9$ к.; $T_3 = 590{,}5$ klg. **16.** $r' = \frac{nd}{n + n'}$; $r = \frac{n'd}{n + n'}$. **18.** $R = 0{,}44$ м.; $r = 0{,}08$ м.; $n' = 264$. **19.** $r = 0{,}728$ м.; $d = 2{,}328$ м. **20** $n = 1864{,}8$; $\omega = 195{,}18$. **21.** $r = 1\frac{2}{3}$ фут.; $r' = 8\frac{1}{3}$ ф. **22.** Для опредѣленія шага зацѣпленія p пользуются формулою *Тредгольда*: $P = Ap^2$, которая выведена въ предположеніи, что все давленіе P въ зубцахъ, сосредоточено на одномъ зубцѣ и приложено на его концѣ. Если въ этой формулѣ P выражено въ klg. и p въ сант., то A имѣетъ слѣдующія значенія: 54 — для машинъ, приводимыхъ въ движеніе руками; 36 — для машинъ, получающихъ движеніе отъ неодушевленныхъ двигателей, но работающихъ безъ значительныхъ ударовъ; 25—при сильныхъ ударахъ и 17—для деревянныхъ зубцовъ. Сверхъ этой формулы для рѣшенія задачи имѣемъ: $mp = 2\pi r$, гдѣ m есть число зубцовъ шестерни; кромѣ того имѣемъ, назвавъ буквою $v = \frac{2\pi r.n}{60}$ скорость на начальныхъ окружностяхъ колесъ: $Pv = \frac{2\pi rn}{60} = 75N$ к. м.; но Pr есть моментъ силы P относительно оси шестерни; означивъ его буквою M, получимъ: $M = Pr = \frac{75.60}{2\pi} \cdot \frac{N}{n} = 716{,}56\frac{N}{n}$. Изъ этихъ ур. находимъ: $r = \sqrt[3]{\frac{Mm^2}{4\pi^2 A}}$; $R = kr$; $p = \frac{2\pi r}{m}$; $e = \frac{p}{2{,}1}$. Число зубцовъ шестерни m берется изъ таблицы § 46. **23.** $r = \frac{d}{k + 1}$; $R = kr$. По формулѣ Тредгольда: $P = \frac{M}{r} = Ap^2$, откуда: $p = \sqrt{\frac{M}{Ar}}$; $m = \frac{2\pi r}{p}$; $m' = \frac{2\pi R}{p}$. **24.** По таблицѣ § 46 наименьшее число

зубцовъ на шестернѣ при $k = 2,1$ будетъ: $m = 25$; слѣд.: $m' = 52,5$; примемъ $m' = 53$, тогда $k = \frac{53}{25} = 2,12$. Далѣе: $r = \sqrt[3]{\frac{Mm^2}{4\pi^2 A}} = 0,2$ м. $(A = 36)$; $R = 2,12 \,.\, 0,2 = 0,424$ м.; $p = 0,05$ м.; $e = 0,0239$ м. **25**. $k = \frac{55}{10} = 5,5$; $r = \frac{4}{5,5+1} = 0,615'$; $R = 3,385'$; $Pv = 15N$ пуд. ф. $= P\frac{2\pi r.55}{60} = 15.25$ п. ф.; $P = 105,9$ пуд. По формулѣ Тредгольда находимъ: $p = 2,73''$; а $m = \frac{2\pi r}{p} = 16,99$; $m' = 93,225$. **26**. $T^f = f\pi N\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)\frac{\pi rn}{60} = 3,225$ к. м. **27**. $T_f = f\pi P\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right) v = T_u\,\pi f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)$; $T_u = 20 \,.\, 75 = 1500$ к. м.; $T_f = 1500 \,.\, 3,14 \,.\, 0,11 \left(\frac{1}{180}+\frac{1}{60}\right) = 11,5$ к. м **28**. $T_m = T^u + T_f = T_u\left\{1 + \pi f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)\right\}$, откуда: $T_u = Pv = \frac{T_m}{1+\pi f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)} = \frac{6 \,.\, 75}{1+\pi f\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)} = 444,35$ к. м., слѣд., работа, поглощаемая треніемъ: $T_f = 5,65$ к. м. **29**. Пусть q будетъ давленіе на зубцы колеса. Такъ какъ сила q дѣйствуетъ по оси винта, то для равновѣсія его, не принимая въ расчетъ тренія, должно быть: $P = q\frac{h}{2L}$ или $\left(\text{такъ какъ } \operatorname{tang}\alpha = \frac{h}{2\pi r}\right)$: $P = q\frac{r}{L}\operatorname{tang}\alpha$, откуда $q = \frac{P\pi 2L}{h}$. На колесо дѣйствуютъ двѣ силы: q и Q; для равновѣсія ихъ должно быть: $P\frac{2\pi L}{h}R - Q\rho = 0$, откуда: $P = Q\frac{\rho h}{2\pi R.L}$. *Численный примѣръ*: $P = 17,7$ фунт. Принимая въ расчетъ треніе, получимъ: $P = q\frac{r}{L}\frac{\operatorname{tang}\alpha + f}{1 - f\operatorname{tang}\alpha} = Q\frac{\rho}{R}\frac{r}{L}\cdot\frac{\operatorname{tang}\alpha + f}{1 - f\operatorname{tang}\alpha}$. *Численный примѣръ*: $P = 45$ фунт. **31**. Предполагая что шатунъ остается параллельнымъ линіи мертвыхъ точекъ и называя буквою P постоянное среднее усиліе, передаваемое шатуномъ пуговкѣ, будемъ имѣть: $T_f = Pf2\pi r$ (въ одинъ оборотъ вала), а въ сек.: $T_f = \frac{fP2\pi rn}{60}$. Такъ какъ скорость конца шатуна та же, что и поршня, то $P = \frac{30 \,.\, 75}{1,5} = 1500$ klg., слѣд.: $T_f = 15,072$ к. м. **32**. $AB = AO + BO$. Какой нибудь діаметръ, напр., проходящій чрезъ F, равенъ: $FO + DO$ (по симметріи нижней части съ радіусомъ OD), но $FO = OB - \frac{2}{6}AB'$; а $DO = AO + \frac{2}{6}AB'$; слѣд.: $FO + DO = AO + BO$. **35**. Проведемъ изъ середины M прямой AB линію $MC = OB$. Такъ какъ $AM = MB$, то $AC = OC$, слѣд., прямоугольные треугольники AMC и OMC равны, а потому $OM = AM$. Это равенство справедливо для всякаго положенія прямой AB, слѣд., OM есть постоянная длина и точка M описываетъ около O окружность радіуса $\frac{AB}{2}$. **36**. 15,9 пар. л. **37**. 1) a: 2,315 коп.; b: 2,04 коп.; c: 4,287 коп.; 2) 0,858 коп. **38**. 1) усиліе рабочаго 27,5 фунт.

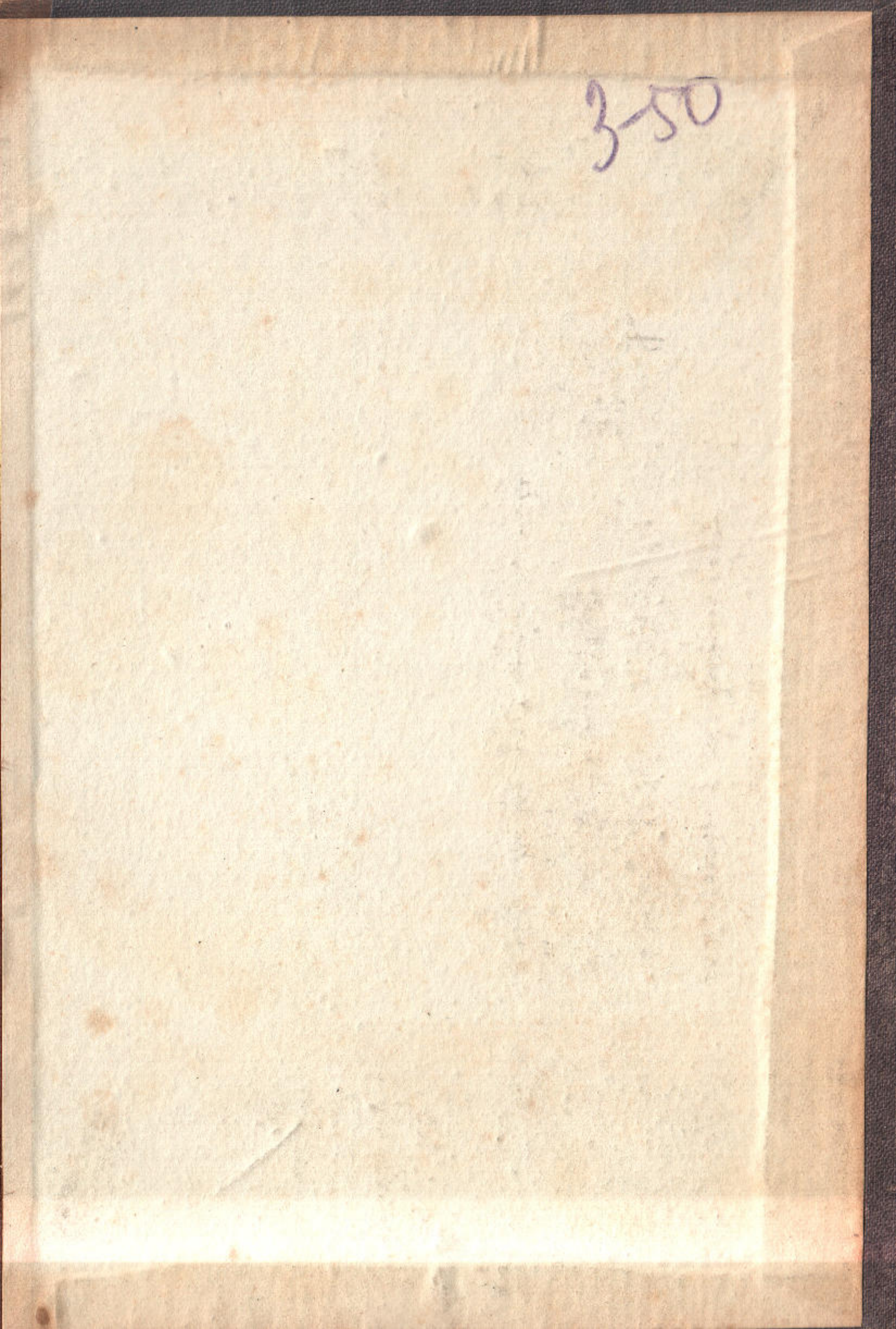
2) a: скорость конца рукоятки $v' = 2,46\left(2 - \frac{27,5}{19,5}\right) = 1,45$ фут.; скорость груза $c = v'\frac{P}{1,18Q} = 0,04698$ фут.; b: $\mu = \frac{T_n}{T_m} = \frac{36.0,04698}{1,3766.1,45} = 83,7\%$ **39.** Для перваго вала ур. моментовъ будетъ: $8 . 40 = P_1 10\left\{1 + 0,11\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{50}\right)\frac{5}{2}\right\} + {}$ $+ 0,11\,(14 + 8 + P_1)2$, откуда: $P_1 = 29,87$ klg. (безъ тренія оно было бы $= 32$ klg.). Подобнымъ же образомъ составится ур. моментовъ для вторaго вала: $29,87 . 50 = P_2\, 10\left\{1 + 0,11\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{25}\right)\frac{5}{2}\right\} + 0,11\left(40 - \left\{P_2 + 29,87\right\}\right)2,5$, откуда: $P_2 = 147,45$ klg. (безъ тренія, $P_2 = 160$ klg.). Наконецъ, для третьяго вала ур. моментовъ будетъ: $147,45 . 25 = Q . 10 + 13\,(0,025)^2\,Q100 + 0,11\,(147,45 + 50 + Q)3$, откуда $Q = 325,05$ klg., а безъ вредн. сопротивленій: $Q = 400$ klg. **40.** $P = 8,85$ klg. **41.** $Q = 695,65$ klg. **42.** $P = Q\frac{h}{2\pi L}\cdot\frac{r'}{R} = {}$ $= \frac{Q}{471}$. По теоремѣ моментовъ: $Q . 3,2' = 100 . 2,5$, откуда: $Q = \frac{2500}{32} = 78,12$ пуд., слѣд.: $P = \frac{3124,8}{471} = 6,63$ фунта. **43.** Расчетъ должно вести на 100 пуд., такъ какъ грузъ подвѣшенъ къ подвижному блоку. 1) Двойная передача: $P = 1,66$ пуд., 2) тройная передача: $P = 0,277$ пуд. **44.** $0,85\ P = \frac{1,5 . 11 . 60}{21 . 7 . 9}$ 1,5 пуд., откуда $P = 1,32$ пуд., $= 21,6$ klg., слѣд., 1 лошадь. По формулѣ Машека: $21,6 = 45\left(2 - \frac{v'}{0,9}\right)$, откуда $v' = 1,368$ м. Число оборотовъ колеса A: $n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 . v'}{\pi L} = 2,04$. Шкивъ дѣлаетъ: $2,04 . \frac{60 . 11}{7 . 9} = 22,3$ обор въ мин. **45.** $n . 3,4 = 0,1 . 200\, Cos\alpha + (200 + n . 17)\, Sin\alpha$. Принимая $Sin\alpha = tang\alpha = {}$ $= 0,02$ и $Cos\alpha = 1$, получимъ: $n = 7,8$, слѣд., 8 лошадей. *Повѣрка*: по Бокельбергу (§ 109) общая сила тяги 8 лошадей будетъ: $3,4 + 7 . 3,4 . 0,9 = 25,77$ пуд., а по формулѣ: $P = 0,1 . 200 + (200 + 8 . 17)\frac{1}{50}$ общая сила тяги должна быть: $P = 26,6$ пуд., **49.** Свободная поверхность есть плоскость, параллельная наклонной плоскости. **50.** 1500 klg. **51.** $h = 20$ м. **52.** 3200 klg. **53.** 2158,75 klg, **54.** 1) сосудъ опускается: $p = p + m\,(g - w)\,h$. Если $w = g$, то гидростатическое давленіе равно нулю; если $w > g$, то гидростат. давленіе будетъ отрицательное: вода остается назади; 2) сосудъ движется вверхъ: $p' = p + m\,(g + w)h$. **55.** 1,875 klg. **56.** $66^2/_3$ фут. **57.** Верхнее выдерживаетъ давленіе: $\Delta\pi r^2\,(h - {}^1/_2)$, нижнее: $\Delta\pi r^2(h + {}^1/_2)$. **58.** $Q = (P + \Delta\pi r^2)\frac{R^2}{r^2}$. **59.** 1) $F = 92,95 + 6,76 = 99,71$ пуд,; 2) $99,71 - 5,63 = 94,08$ пуд. **60.** Вѣсъ плотины $= \frac{(a + b + 2x)\ hl\Delta\delta}{2}$, а вертикальное давленіе воды на наклонную стѣнку $AB = \frac{alh\Delta}{2}$; слѣд., полное давленіе плотины на ея основаніе $= \frac{\Delta lh}{2}\left\{(a + b + 2x)\delta + a\right\}$. Треніе на основаніи будетъ: $f\frac{\Delta hl}{2}\left\{(a + b + 2x)\delta + a\right\}$. Плотина можетъ быть сдвинута горизонтальнымъ давленіемъ воды;

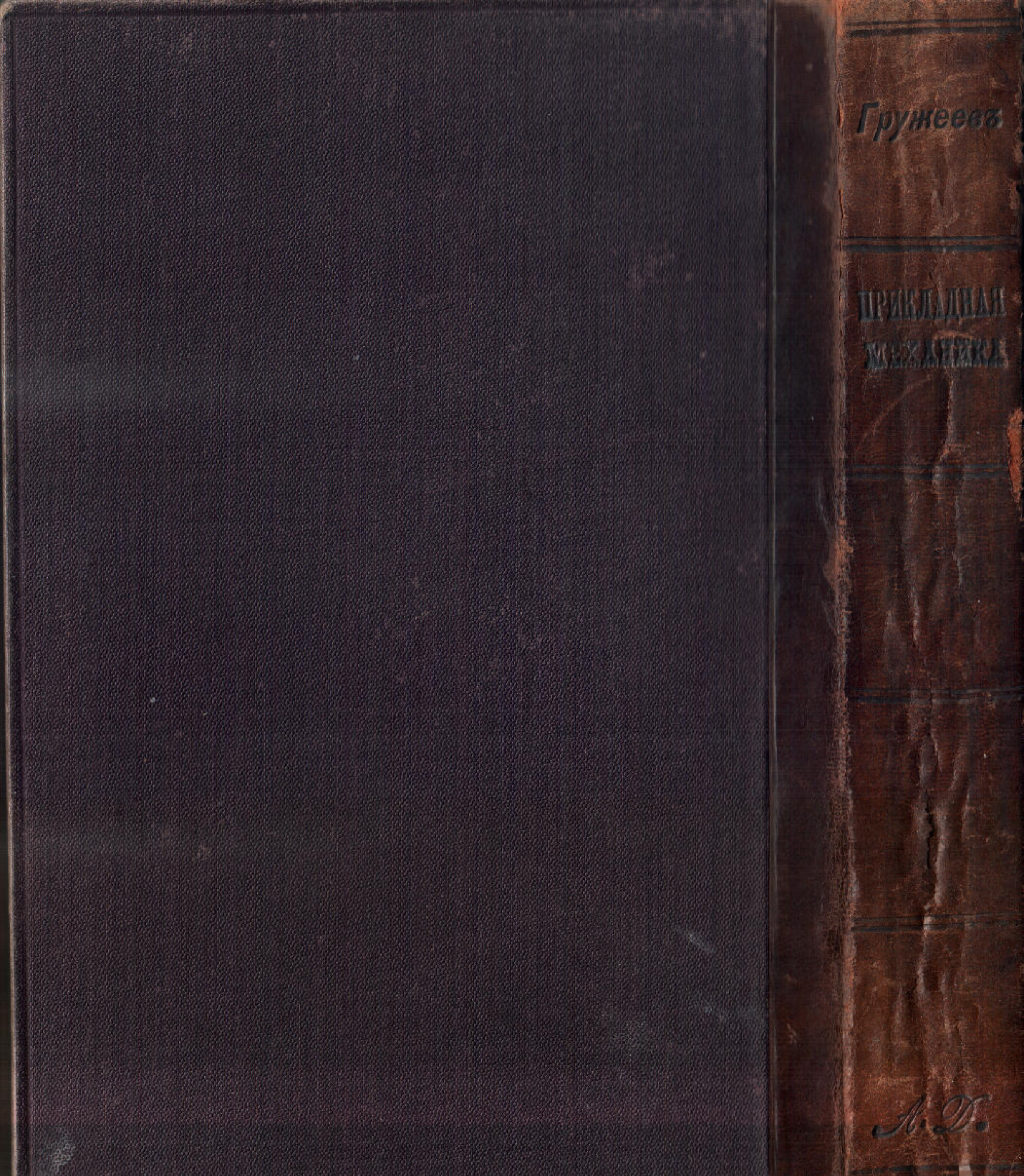
оно равно $\frac{\Delta h^2 l}{2}$; приравнявъ его тренію, найдемъ: $x = \frac{h - fa(1+\delta) - fb\delta}{2f\delta}$. **61.** Въ первой жидкости тѣло вытѣсняетъ (по вѣсу): $V\Delta\delta_1$, а во второй: $V\Delta\delta_2$, Имѣемъ два ур.: $p_1 = P - V\Delta\delta_1$ и $p_2 = P - V\Delta\delta_2$, изъ которыхъ находимъ: $V = \frac{p_1 - p_2}{(\delta_2 - \delta_1)\Delta}$, $P = \frac{p_1\delta_2 - p_2\delta_1}{\delta_2 - \delta_1}$. Такъ какъ $\delta = \frac{P}{V\Delta}$, то $\delta = \frac{p_1\delta_2 - p_2\delta_1}{p_1 - p_2}$. **62.** $\delta = 2^2/_3$. **63.** Золота 4,230 klg., серебра 5,769 klg. **64.** Давленіе ныряла на прессуемый предметъ: Q=60836 фунт. Давленіе на ед. площади (кв. д.) стакана: p=240,7 фунт., а въ атмосферахъ: $\frac{240,7}{16,27} = 14,8$ ат. **65.** $v = 9,799$ м. **66.** v=7,5 м. **67.** 44,75 фунт. **68.** Такъ какъ разность давленій $< \frac{1}{15}$, то можно примѣнить формулу (135); $v = 125,2$ м. **69.** $d = 0,8''$. **70.** $h = 0,105$ м. **71.** v=13 м. **72.** v=6,62 м. **73.** Q=0,23 куб. м. **74.** 1) Такъ какъ высота воды въ сосудѣ уменьшается постепенно, то движеніе воды будетъ равномѣрно замедленное. Пусть въ нѣкоторое время t скорость измѣнилась изъ v въ v′, тогда пройденный путь $s = \frac{v + v'}{2} t$. Въ данномъ случаѣ это будетъ длина призматической струи, вытекшей изъ отверстія во время t; ея объемъ будетъ: $\mu f \left(\frac{v+v'}{2}\right) t = \mu f \frac{\sqrt{2gh} + \sqrt{2gh'}}{2} t$. Приравнявъ эту величину объему F (h—h′) вытекшей, по условію задачи, воды, найдемъ: $t = \frac{2F(h-h')}{\mu f \sqrt{2g}\left\{\sqrt{h} + \sqrt{h'}\right\}} = \frac{2F(\sqrt{h} - \sqrt{h'})}{\mu f \sqrt{2g}}$. 2) Сосудъ опорожнится въ теченіе времени $t' = \frac{F\sqrt{2gh}}{\mu g f}$. **75.** H=2,09′. **76.** На высоту 3,3″. **77.** Q=165,39 куб. ф. **78.** N=6,76 пар. лош. **79.** 1) Q=0,282 куб. м.; R=4,853 м. Ширина колеса L=3,133 м. Число ковшей m=102; 2) r=0,0787 м. **80.** R=8,15′. **81.** Q=0,25 $\frac{N}{H} = 1,67$ куб. м., слѣд., построеніе колеса требуемой силы возможно. Сдѣлаемъ щитъ, наклонный подъ 45°, а толщину слоя притекающей воды примемъ равною 0,1 H=0,15 м. тогда ширина русла $L = \frac{Q}{0,8\,\delta\sqrt{2gH}} = 2,565$ м., а длина лопатокъ $l = 2,565 - 0,02 = 2,545$ м. Высота поднятія щита можетъ быть принята $= \delta$. Примемъ радіусъ колеса R=2 м. Наивыгоднѣйшая скорость v на окружности колеса $= 0,4\,c = 0,4 . 0,97\sqrt{2gH} = 2,1049$ м. Число оборотовъ колеса въ мин. будетъ: $n = \frac{30v}{\pi R} = 10,05$. Высота лопатокъ $a = 2\delta_0 = 2\frac{c\delta}{v} = 0,75$ м. Число лопатокъ $m = \frac{2\pi R}{a} = 17$ (ближайшее цѣлое число). **82.** $v = 0,55c = 0,55 . 0,97\sqrt{2gH} = 2,5885$ м.; R = 3,091 м. Ширина колеса l=1,675 м., высота лопатокъ a=0,4 м.; число ихъ m=40. **84.** Q=2,5 куб. м. Радіусъ щитоваго цилиндра $r_0 = 0,85$ м.; внутренній радіусъ тюрбины r=0,88 м. Наружный радіусъ тюрбины r′=1,17 м. Высота колеса $b = 0,1\frac{r}{\sin\alpha}$, при

$\alpha=30^0$, будетъ: $b=0{,}176$ м. Число оборотовъ тюрбины $n=37{,}356$. Принимая число направляющихъ лопатокъ 24, найдемъ число лопатокъ тюрбины: $24 \cdot 1{,}33=32$. **85.** $N=55{,}2$ пар. л., ходъ $L=7{,}5'$; $D=1{,}596'$. **86.** 1) $N=23{,}185$ пар. л. 2) $n=20$. **87.** $D=9{,}47$ м. **88.** Количество теплоты, необходимое для образованія пара: $Q=0{,}9 \cdot 5100\ (606{,}5+0{,}305 \cdot 159-40)+0{,}1 \cdot 5100\ (159-40)=$ $=2883517$ ед. тепл. Количество теплоты, выдѣляемой топливомъ$=7000 \cdot 068=$ $=4760000$ ед. т., слѣд.: $\mu=\frac{2883517}{4760000}=0{,}605$. **89.** $0{,}65 \cdot 7000 \cdot x=(606{,}5+$ $+0{,}305 \cdot 133{,}91-15)\ 10$; откуда $x=1{,}39$ klg. **93.** $P=\frac{\pi}{4} \cdot 0{,}785^2 \cdot 3 \cdot 10334=$ $=15004$ klg. **94.** $N=k.\ 42{,}57=0{,}60 \cdot 42{,}57=25{,}54$ пар. лош. **95.** $N=k.\ 74{,}6=$ $0{,}65 \cdot 74{,}6=48{,}49$ п. лош. **96.** 15,55 обор. **97.** По формулѣ *Понсле*: $N=k.$ $34{,}643=0{,}5 \cdot 34{,}643=17{,}32$ пар. лош. **98.** По формулѣ *Понсле*: $N=k.\ 94{,}855=$ $=72{,}0898$ п. л. **99.** $m=24{,}12$ обор. въ мин. **100.** 7296,15 klg. **101.** 1) $N=k.$ $50{,}0=35{,}056$; 2) $m=8{,}04$ обор. въ мин. **102.** По формулѣ Понсле, при $\varepsilon=$ $=2: N=k.\ 66{,}276=0{,}66 \cdot 66{,}276=43{,}742$ п. л., а при $\varepsilon=5: N=k.\ 43{,}1976=$ $=24{,}52$ п. л. **104.** 1) $x=0{,}1r$; $y=0{,}4r$; 2) a и b: $l_1=l_2=0{,}25\ l$; c : $l_3=0{,}7968\ l$; d : $l_4=0{,}9559\ l$; 3) a : $l_5=0{,}0158\ l$; b : $l_6=0{,}6342\ l$; c : $l_7=0{,}9095\ l$; d : $l_8=0{,}9969\ l$. **105.** $e=0{,}4492\ r$; $i=0{,}1492\ r$; $\beta=33^\circ 18{,}6''$. **106.** 0,8722 l. **107.** 1) $P=100$ klg.; 2) 10 к. м. **109.** $Q=0{,}00972$ куб. м.; $N=2{,}1238$ пар. л. **110.** $Q=0{,}004994$ куб. м.; $N=2{,}81658$ пар. лош. **111.** $Q=0{,}013866$ куб. м.; $D=0{,}166$ м.; $N=5{,}269$ п. л. Объемъ воздушнаго колокола, принимая его равнымъ 4 объемамъ цилиндра, будетъ: 0,10388 куб. м.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ.

Bach, Die Wasserräder. — **Blaha**, Die Steuerungen der Dampfmaschinen.—**Beretta**, Die Dampfkessel.—**Buchetti**, Les maschines à vapeur.—**Busley**, Die Schiffsmaschinen.—**Grashof**, Theoretische Maschinenlehre.—**Denfer**, Les chaudières à vapeur.—**Евневичъ**, Курсъ прикладной механики и Курсъ гидравлики.—**Fliegner**, Die Umsteuerungen der Locomotiven.—**Heusinger von Waldegg**, Handbuch des Eisenbahnwesens.—**Hrabák**, Die Dampfmaschinenberechnung.—**Кадіа и Дюбостъ**, Примѣненія электричества къ промышленности.—**Meissner**, Die Hydraulik und die hydraulische Motoren.—**Musil**, Die Motoren für das Kleingewerbe.— **Н. П. Петровъ**, Паровозы (литогр. курсъ).—**Н. П. Петровъ**, Паровые котлы и паровыя машины (литогр. к.). – **Poillon**, Les pompes.—**Radinger**, Die Motoren. Bericht über die Weltausstellung in Wien 1873.—**Redtenbacher & Grashof**, Resultate für den Maschinenbau.—**Reicbe**, Der Dampfmaschinenconstructeur.—**Reiche**, Die Maschinenfabrication. — **Reiche**, Anlage und Betrieb der Dampfkessel.—**Riedler**, Dampfmaschinen. Bericht über die Weltausstellung in Paris 1878.—**Rühlmann**, Allgemeine Maschinenlehre.—**Rühlmann**, Hydromechanik.—**Rühlmann**, Vorträge über die Geschichte der Mechanik.—**Scholl**, Führer des Maschinisten.—**Тиме**, Курсъ паровыхъ машинъ.—**Тиме**, Горнозаводская механика.—**Текштремъ**, Паровозы.—**Uhland**, Handbuch für den practischen Maschinenconstructeur. — **Unwin**, The elements of construction.— **Weisbach—Hermann**, Lehrbuch der Ingenieur—und Maschinenmechanik.


3-50


Гружеевъ
ПРИКЛАДНАЯ
МЕХАНИКА
Л. Д.